



**SKRIPSI – ME 141501**

**KAJIAN KOMPUTASIONAL SISTEM PEMANASAN  
AIR MENGGUNAKAN *SOLAR WATER HEATER*  
UNTUK SISTEM DOMESTIK KM. DOROLONDA**

**Lulu Rozy  
NRP 4212 100 148**

**Dosen Pembimbing  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M. Sc**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**



**FINAL PROJECT – ME 141501**

**COMPUTATIONAL STUDIES ON WATER  
HEATING SYSTEMS USING SOLAR WATER  
HEATER FOR DOMESTIC SYSTEMS IN KM.  
DOROLONDA**

**Lulu Rozy  
NRP 4212 100 148**

**Supervisor  
Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D  
Taufik Fajar Nugroho, ST., M. Sc**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

### **KAJIAN KOMPUTASIONAL SISTEM PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN *SOLAR WATER HEATER* UNTUK SISTEM DOMESTIK KM. DOROLONDA**

### **SKRIPSI**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Lulu Rozy**

**NRP 4212 100 148**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Sutopo Purwono Fitri, ST., M.Eng., Ph.D

2. Taufik Fajar Nugroho, ST., M. Sc



**SURABAYA  
JULI 2016**

## LEMBAR PENGESAHAN

# KAJIAN KOMPUTASIONAL SISTEM PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN *SOLAR WATER HEATER* UNTUK SISTEM DOMESTIK KM. DOROLONDA

## SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Lulu Rozy**

**NRP 4212 100 148**

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT**

**NIP 19770802 2008 01 1007**

# **KAJIAN KOMPUTASIONAL SISTEM PEMANASAN AIR MENGGUNAKAN *SOLAR WATER HEATER* UNTUK SISTEM DOMESTIK KM. DOROLONDA**

Nama Mahasiswa : Lulu Rozy  
NRP : 4212 100 148  
Dosen Pembimbing 1 : Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D  
Dosen Pembimbing 2 : Taufik Fajar Nugroho, ST., M. Sc

## **ABSTRAK**

Kenyamanan *crew* dan penumpang kapal merupakan hal yang harus diperhatikan. Salah satu upaya untuk meningkatkan kenyamanan *crew* dan penumpang kapal dengan menyediakan fasilitas air hangat pada sistem domestik. Namun, fasilitas air hangat sangatlah boros jika menggunakan *steam boiler* ataupun *heater electric*. Sehingga, dibutuhkan teknologi alternatif untuk menyediakan fasilitas air hangat di kapal. Energi terbarukan terfokus pada pengembangan energi surya yang merupakan sumber energi terbarukan yang mempunyai potensi sangat besar, baik sebagai *resource* maupun potensi untuk pengembangan teknologi dan pemanfaatannya. Salah satu contohnya adalah energi terbarukan matahari. Pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan air panas dikapal dirasa dapat digunakan. Selain karena energi matahari tidak akan habis dan terjangkau, energi matahari ini juga ramah lingkungan sehingga tidak menimbulkan pencemaran laut. Tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan kajian teknis terhadap sistem domestik dan aplikasi teknologi *solar water heater* di kapal penumpang, membuat desain *keyplan* sistem domestik dengan *solar water heater* di kapal penumpang, serta melakukan simulasi dengan software. Metode yang digunakan adalah analisa perhitungan dan simulasi dinamik. Dari hasil analisa didapatkan kebutuhan air hangat untuk mandi 22000 liter/hari dengan temperatur 38°C, sedangkan kebutuhan air panas 7100 liter/hari dengan temperatur 70°C, panasnya didapatkan dari *solar collector* yang dipasang sebanyak 41 buah dengan serapan

kalor 393,6 kWh. Dari hasil simulasi dinamik yang di *setting* selama 10 hari (sesuai rute pelayaran) didapatkan ToColl (*Temperature output solar collector*) sebesar 76,86°C, GColl (*Solar radiation solar collector*) sebesar 271046,16 kJ/h dan nilai mdColl (*Flowrate solar collector*) selalu konstan pada 1062 kg/h. Dari perencanaan yang telah dibuat, secara kajian teknis pemasangan *solar water heater* pada sistem domestik dapat diaplikasikan di KM. Dorolonda.

**Kata kunci: Fasilitas Air Hangat, Simulasi Dinamik, Sistem Domestik, Solar Water Heater**

# **COMPUTATIONAL STUDIES ON WATER HEATING SYSTEMS USING SOLAR WATER HEATER FOR DOMESTIC SYSTEMS IN KM. DOROLONDA**

*Student Name* : Lulu Rozy  
*NRP* : 4212 100 148  
*Supervisor 1* : Sutopo Purwono Fitri, ST, M.Eng, Ph.D  
*Supervisor 2* : Taufik Fajar Nugroho, ST., M. Sc

## **ABSTRACT**

*Crew's and passengers are things that must be considered. One of the efforts to improve the comfort of the crew and passengers are through warm water facilities in the domestic system. However, warm water facility is wasteful if it is generated using a steam boiler or heater electric. Thus, alternative technologies are needed to provide hot water facility in the vessel. Renewable energies that is projected on the development of solar energy is a renewable energy source that has enormous potential, both as a resource and potential for technology development and its utilization. One example of alternatives is the renewable energy of the sun. Utilization of solar energy for hot water in vessel seems to be functional. In addition, its solar energy will not be limited and affordable. Furthermore, solar energy is also environmentally friendly, as it is not causing pollution on the sea. This thesis aims to conduct technical studies on domestic systems and application of solar water heater technology in the passenger ship, by making the design key plan of domestic system with a solar water heater in passenger ships, and perform its simulations with software. The method used is the calculation analysis and dynamic simulation. From the analysis results obtained needs for warm water bath is 22000 liters/day with a temperature of 38°C, while the hot water needs 7100 liters/day with a temperature of 70°C, the heat obtained from solar collectors are mounted as many as 41 pieces with 393.6 kWh of heat absorption. From the simulation results in the dynamic*

*setting for 10 days (according to the shipping service) ToColl (Temperature output solar collector) obtained by 76,86°C, GColl (Solar radiation solar collector) 271046,16 kJ/h and the value mdColl (Flowrate solar collector) always constant at 1062 kg/h. From those planning, the technical study on the installation of solar water heater domestic system can be applied in KM. Dorolonda.*

***Keywords: Warm Water Facilities, Dynamic Simulation, Domestic System, Solar Water Heater***



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Perumusan Masalah.....	4
I.3    Batasan Masalah.....	5
I.4    Tujuan Skripsi .....	5
I.5    Manfaat.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1    Studi Hasil Penelitian Sebelumnya .....	7
II.1.1    Perencanaan Sistem <i>Solar Water Heater</i> .....	7
II.1.2    Simulasi Software TRNSYS .....	14
II.2    Teori Penunjang .....	17
II.2.1    Pengertian Energi Surya .....	17
II.2.2    Pengertian <i>Solar Water Heater</i> .....	18
II.2.3    Perpindahan Panas.....	21
II.2.4    Sistem Domestik.....	24
II.2.5    Aturan Kebutuhan Air Panas .....	25
II.2.6    Sistem <i>Solar Water Heater</i> .....	26
II.2.7    Aspek Utama Dalam Aplikasi <i>Solar Water Heater</i> ....	27
II.2.8 <i>Hot Water Shower</i> Pada Sistem Domestik .....	28
II.2.9    Keamanan Dalam Pemakaian <i>Hot Water Shower</i> .....	29
II.2.10 <i>Heat Insulation Material</i> .....	32
II.2.11    Kebutuhan Air Hangat Untuk Mandi .....	34
II.2.12    Insulasi Tangki .....	35
II.2.13    Insulasi Pipa .....	41
BAB III. METODOLOGI.....	45
III.1 <i>Flowchart</i> .....	45

III.2	Deskripsi <i>Flowchart</i> .....	47
BAB IV.	ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	51
IV.1	Data Utama KM. Dorolonda .....	51
IV.2	Rute Pelayaran KM. Dorolonda Pada Bulan Juli 2016 .....	52
IV.3	Perhitungan Kebutuhan Air Hangat Untuk Mandi .....	53
IV.4	Perhitungan <i>Massa</i> Air Hangat Untuk Mandi .....	54
IV.5	Perhitungan Kebutuhan Air Panas Untuk Mandi .....	55
IV.6	Perhitungan Kebutuhan Kalor yang Diperlukan .....	56
IV.7	Perencanaan Jumlah <i>Solar Collector</i> .....	57
IV.8	Perencanaan Dimensi Tangki Air Panas .....	58
IV.9	Perhitungan Insulasi Tangki .....	59
IV.10	Perhitungan Insulasi Pipa .....	73
IV.11	Desain <i>Keyplan</i> Sistem SWH.....	75
IV.12	Penggunaan Software TRNSYS 16.....	80
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	91
V.1	Kesimpulan.....	91
V.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	.....	93
LAMPIRAN	.....	97
BIODATA PENULIS	.....	xix

## DAFTAR TABEL

Tabel II-1. Kesimpulan Penelitian Terdahulu .....	13
Tabel II-2. Sumber Energi Bertenaga Surya .....	17
Tabel II-3. <i>Water Temperature Effects on Adult Epidermis</i> .....	30
Tabel II-4. Beberapa Jenis Bahan Insulasi Pipa .....	33
Tabel IV-1. Rute Pelayaran KM. Dorolonda.....	52
Tabel IV-2. Dimensi Tangki <i>Hydrophore Hot Water</i> .....	59
Tabel IV-3. Data Masukan .....	60
Tabel IV-4. Hasil Perhitungan Luasan Pada Dinding Tangki .....	61
Tabel IV-5. Total Koefisien <i>Heat Losses</i> .....	66
Tabel IV-6. Koreksi Temperatur Pada Dinding Tangki .....	67
Tabel IV-7. Total Koefisien <i>Heat Losses</i> Hasil Koreksi .....	71
Tabel IV-8. <i>Heat Losses</i> yang Terjadi Pada Tangki.....	72
Tabel IV-9. Komparasi Perhitungan Manual dengan Software ..	90

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1. Akomodasi dan Fasilitas Rekreasi di Kapal .....	2
Gambar I-2. <i>Solar Water Heating System</i> .....	4
Gambar II-1. Sistem Pemanas Air Aktif (Sirkulasi Langsung).....	9
Gambar II-2. Sistem Pemanas Air Aktif (Sirkulasi Tidak Langsung) .....	10
Gambar II-3. Sistem Pemanas Air Pasif (ICS System).....	11
Gambar II-4. Sistem Pemanas Air Pasif ( <i>Thermosyphon</i> ) .....	12
Gambar II-5. Skematika Diagram <i>Solar Water Heater</i> .....	15
Gambar II-6. <i>Flow Diagram</i> Simulasi TRNSYS.....	16
Gambar II-7. Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Pasif.....	19
Gambar II-8. Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif .....	19
Gambar II-9. Skema <i>Solar Water Heater</i> .....	20
Gambar II-10. Perpindahan Panas.....	21
Gambar II-11. Contoh Skema <i>Domestic Water System</i> .....	25
Gambar II-12. Skema <i>Solar Water Heater</i> .....	27
Gambar II-13. Instalasi <i>Hot Water</i> Pada Sistem Domestik .....	29
Gambar II-14. Bakteri <i>Legionella</i> .....	31
Gambar II-15. Penyebaran Bakteri <i>Legionella</i> .....	31
Gambar II-16. Desain Kapasitas Peralatan.....	34
Gambar II-17. <i>Vertical Cylindrical Tank</i> .....	35
Gambar II-18. <i>Cross Section of Insulated Pipe</i> .....	42
Gambar II-19. Insulasi Pipa.....	43
Gambar IV-1. KM. Dorolonda .....	51
Gambar IV-2. Desain Kapasitas Peralatan .....	53
Gambar IV-3. Dimensi Utama <i>Solar Collector</i> .....	58
Gambar IV-4. Potongan Melintang Pipa Air Panas .....	74
Gambar IV-5. <i>Keyplan</i> Sistem Domestik KM. Dorolonda .....	78
Gambar IV-6. Peletakan <i>Solar Collector</i> di Deck 9 .....	79
Gambar IV-7. Detail Gambar Peletakan <i>Solar Collector</i> di Deck 9... ..	80
Gambar IV-8. Pemodelan Awal Sistem Pada TRNSYS 16 .....	81
Gambar IV-9. Parameter di <i>FW Tank</i> Pada TRNSYS 16 .....	82
Gambar IV-10. Data <i>Input</i> di <i>FW Tank</i> Pada TRNSYS 16.....	82
Gambar IV-11. Diagram Alur Simulasi Pada TRNSYS 16 .....	83
Gambar IV-12. Parameter Standard <i>Weather</i> Pada TRNSYS 16.....	84

Gambar IV-13. <i>Run Simulation Completed</i> (Berhasil).....	85
Gambar IV-14. Hasil dari ToColl ( <i>Temperatur Output Solar Collector</i> ) Pada TRNSYS 16 .....	86
Gambar IV-15. <i>Temperatur Output Solar Collector</i> yang Dihasilkan Pada Jam ke-60 .....	87
Gambar IV-16. Hasil dari GColl ( <i>Solar Radiation Solar Collector</i> ) Pada TRNSYS 16 .....	88
Gambar IV-17. Hasil dari mdColl ( <i>Flowrate Solar Collector</i> ) Pada TRNSYS 16.....	89

# **BAB I.**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Indonesia adalah negara kepulauan yang tentu saja banyak membutuhkan armada laut guna menyalurkan barang dari satu pulau ke pulau yang lainnya. Kebutuhan akan kapal laut khususnya kapal penumpang sangat besar sekali sebagai sarana penghubung maupun sarana transportasi, dll. Banyaknya kebutuhan akan armada kapal juga menjadikan peningkatan pasar tenaga kerja khususnya *crew* atau yang sering disebut ABK (anak buah kapal). Sehingga, *crew* kapal merupakan manifestasi penting dalam industri maritim, dimana mereka inilah pelaku utama dalam pengoperasian kapal saat berlayar.

Kenyamanan *crew* kapal ketika berada di atas kapal perlu diperhatikan dan ditingkatkan. Karenanya *crew* kapal bekerja untuk jarak pelayaran yang cukup jauh dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga faktor kenyamanan dan keamanan di atas kapal menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Kenyamanan dalam bekerja dipengaruhi oleh lingkungan kerja atau kondisi kerja, serta faktor-faktor yang berkaitan dengan kerja tersebut. Kondisi kerja berkaitan dengan faktor seperti cahaya, suhu, kebisingan, debu, dan hal semacam itu yang dapat mempengaruhi kinerja suatu pekerjaan dari *crew*.

Selain memperhatikan kenyamanan *crew* kapal, pada kapal penumpang kenyamanan dan keamanan para penumpang kapal juga perlu diperhatikan. Bahkan kenyamanan penumpang kapal harus lebih diutamakan. Sesuai dengan aturan yang ada di *Maritime Labour Convention* (MLC). Dijelaskan pada *regulation 3.1* mengenai *accommodation and recreational facilities* disebutkan bahwa kapal harus menyediakan akomodasi dan fasilitas rekreasi yang baik untuk menunjang kesehatan

untuk para *crew* dan penumpang kapal. Salah satu upaya untuk meningkatkan kenyamanan *crew* dan penumpang di atas kapal adalah dengan menyediakan fasilitas air hangat pada sistem domestik kapal. (Royani, 2015)



Gambar I-1. Akomodasi dan Fasilitas Rekreasi di Kapal

Sumber: (Sulistyo, 2014)

Salah satu aplikasi dari penyediaan air hangat yang bermanfaat adalah penyediaan *hot water* pada *shower* untuk tiap-tiap kamar mandi *crew* dan penumpang yang memiliki fasilitas *hot water*. Terdapat banyak sekali manfaat dari mandi dengan menggunakan air hangat yaitu dapat mengurangi kelelahan, merelaksasi otot, merelaksasi badan, menghilangkan stres, dan dapat memperlancar peredaran darah, selain itu dapat juga menyegarkan badan serta menghilangkan racun yang ada di dalam tubuh kita. Oleh karena itu, hal ini sangat baik untuk disediakan di kapal, dan untuk menunjang kesehatan bagi *crew* yang bekerja selama berlayar dan penumpang kapal tersebut.

Namun pada kondisi saat ini, yang menjadi permasalahan adalah untuk menyediakan fasilitas *hot water* pada *shower* dan fasilitas air minum sangatlah boros terutama jika menggunakan *heater electric*. Oleh karena itu diperlukan suatu jalan keluar untuk mendapatkan air panas yang hemat dan ramah lingkungan.



Menyongsong era global dan menipisnya sumber energi berbahan bakar fosil, pemanfaatan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif menjadi kebutuhan utama energi yang tidak dapat diabaikan. Energi terbarukan terfokus pada pengembangan energi surya yang merupakan sumber energi terbarukan yang mempunyai potensi sangat besar baik sebagai *resource* maupun potensi untuk pengembangan teknologi dan pemanfaatannya. Sumber energi utama tersebut adalah berbahan bakar fosil atau energi konvensional.

Perkembangan teknologi energi surya yang terjangkau, tidak habis, dan bersih akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, serta menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah.

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan.

Indonesia mempunyai potensi energi matahari yang melimpah. Namun melimpahnya sumber energi surya di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu cara untuk memanen radiasi panas dan cahaya yang dipancarkan matahari menjadi *thermal* adalah dengan memanfaatkan *solar water heater*. Penggunaan SWH merupakan sistem yang didesain untuk menghadirkan air panas sepanjang tahun. Energi terbarukan ini dirasa cocok untuk memenuhi kebutuhan sistem pemanas yang ada di kapal penumpang. (Alamendah, 2014)

Untuk menjawab permasalahan ini, maka direncanakan pembuatan desain sistem pemanas air (domestik) dengan menggunakan energi *solar water heater* dan metodologi yang digunakan adalah simulasi sistem yang telah dibuat dengan perangkat lunak TRNSYS untuk mengetahui performansi dari sistem tersebut. Dengan pemanfaatan *solar water heater* di kapal penumpang ini, diharapkan dapat meningkatkan penggunaan energi terbarukan matahari di Indonesia yang lebih ekonomis untuk menghasilkan *hot water* di sistem domestik kapal.



Gambar I-2. *Solar Water Heating System*

Sumber: (Alamendah, 2014)

## I.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang muncul diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Berapakah kebutuhan air hangat untuk sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda ?
- b. Berapakah kebutuhan *solar water heater* untuk sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda ?
- c. Bagaimana perencanaan desain *keyplan* sistem domestik dengan *solar water heater* pada kapal penumpang KM. Dorolonda ?
- d. Bagaimana simulasi sistem dengan menggunakan software TRNSYS ?

### I.3 Batasan Masalah

Batasan masalahnya adalah :

- a. Sistem *solar water heater* yang akan dibuat hanya digunakan untuk sistem domestik saja.
- b. Untuk desain *solar collector* / panelnya menggunakan desain panel yang sudah ada pada penelitian sebelumnya.
- c. Analisa dilakukan pada *fresh water system (hot water)* untuk kebutuhan mandi di kapal penumpang KM. Dorolonda pada temperatur 38° C.
- d. Tidak menghitung analisa ekonomi.

### I.4 Tujuan Skripsi

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Untuk melakukan kajian teknis terhadap sistem domestik dan aplikasi teknologi *solar water heater* pada sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda.
- b. Membuat desain *keyplan* sistem domestik dengan *solar water heater* di kapal penumpang KM. Dorolonda.
- c. Melakukan simulasi dengan software TRNSYS.

### I.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Menyediakan perencanaan yang baik untuk sistem domestik dengan aplikasi teknologi *solar water heater*.
- b. Mendapatkan desain *keyplan* yang sesuai untuk perencanaan sistem *solar water heater* yang diaplikasikan untuk sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda.
- c. Mengetahui performansi dari *solar water heater* yang diaplikasikan untuk sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda.
- d. Meningkatkan penggunaan energi terbarukan matahari

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB II.**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Studi Hasil Penelitian Sebelumnya**

##### **II.1.1 Perencanaan Sistem *Solar Water Heater***

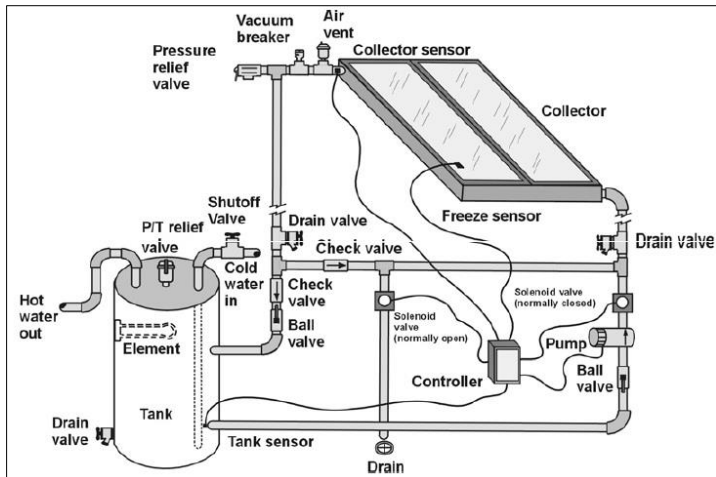
Menurut Rega Ardian Syah, pada tahun 2013 perencanaan sistem pemanas air dengan menggunakan energi solar dengan *type* sistem *thermosiphon passive*, energi alternatif pada sistem domestik merupakan sistem yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Pada penelitiannya, perencanaan *solar water heater thermosiphon passive* dilakukan di kapal tanker 6300 DWT yang ditempatkan pada bagian *top deck* kapal agar kebutuhan energi matahari didapatkan semaksimal mungkin. Tipe *thermosiphon passive* ini termasuk salah satu tipe *solar water heater* yang mudah di aplikasikan.

Christopher A. Homola, PE pada tahun 2004 menyatakan bahwa kolektor surya menangkap energi elektromagnetik matahari dan mengubahnya menjadi energi panas. Efisiensi dari kolektor surya tidak hanya tergantung pada bahan dan desain tetapi juga pada ukuran, orientasi dan kemiringan. Energi surya maksimum didapatkan pada waktu siang hari, saat matahari berada pada titik tertinggi dalam busur hariannya di langit. Sudut kemiringan terbaik akan bervariasi tidak hanya dengan lokasi geografis kolektor, tetapi juga dengan fungsi musiman. Pada penelitiannya, Christopher A. Homola, PE menggunakan percobaan sistem *solar water heater* dengan sistem aktif sirkulasi langsung.

Untuk penjelasannya, terdapat 2 jenis pemanas air yang menggunakan energi surya yaitu:

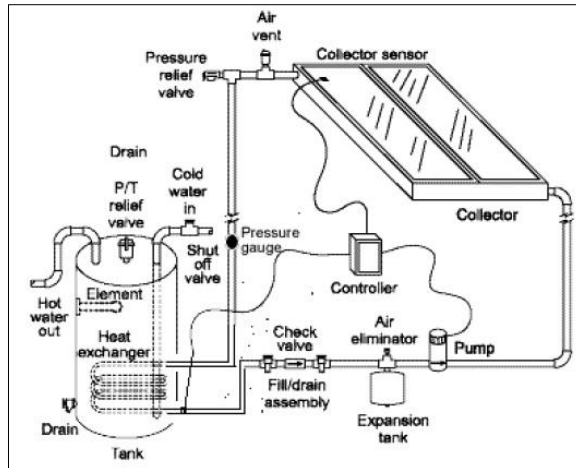
1. Aktif, dibagi lagi menjadi 2 yaitu sistem sirkulasi langsung dan tidak langsung.

- Sistem sirkulasi langsung: pompa air bersirkulasi di dalam sistem melalui kolektor dan masuk ke dalam tangki tempat penyimpanan. Jenis sistem ini dapat bekerja dengan baik di daerah tropis. Cara kerjanya, sistem dipompa langsung dan memiliki satu atau lebih kolektor energi surya yang dipasang di atap dan tangki penyimpanan terletak di suatu tempat di dalam gedung. Sebuah pompa mensirkulasi air dari tangki ke kolektor dan kembali lagi. Hal ini disebut sistem langsung loop terbuka karena panas matahari ditransfer langsung ke air yang beredar melalui kolektor dan tangki penyimpanan. Sistem ini memiliki kontroller diferensial yang merasakan perbedaan suhu antara air yang meninggalkan kolektor surya dan air terdingin di tangki penyimpanan. Ketika air di kolektor adalah sekitar  $15-20^{\circ}\text{F}$  lebih hangat daripada air di tangki penyimpanan, pompa dihidupkan oleh *controller*. Ketika perbedaan suhu turun menjadi sekitar  $3-5^{\circ}\text{F}$ , pompa dimatikan. Kolektor harus selalu memungkinkan untuk dilakukan pengeringan manual dengan cara menutup katup isolasi (terletak di atas tangki penyimpanan) dan membuka katup pembuangan. Re-sirkulasi otomatis adalah cara lain untuk perlindungan pendinginan. Ketika air di kolektor mencapai suhu rendah, *controller* langsung menghidupkan pompa selama beberapa menit untuk menghangatkan kolektor dengan air dari tangki penyimpanan.



Gambar II-1. Sistem Pemanas Air Aktif (Sirkulasi Langsung)  
Sumber: (Homola, 2004)

- Sistem sirkulasi tidak langsung: pompa air (dengan *anti freeze*) bersirkulasi, perpindahan panas terjadi melalui kolektor dan penukar panas. Sehingga dapat memanaskan air yang kemudian mengalir ke dalam rumah. Jenis sistem ini dapat bekerja dengan baik di daerah sub tropis. Cara kerjanya, pompa *anti-freeze* bersirkulasi melalui kolektor, dan penukar panas memindahkan panas dari solusi *anti-freeze* untuk tangki penyimpanan. Ketika cairan penukar panas beracun yang digunakan, penukar berdinding ganda juga diperlukan. Secara umum, jika penukar panas dipasang di tangki penyimpanan, harus terletak di bagian bawah tangki. Hal ini disebut sistem tidak langsung loop tertutup. Loop termasuk kolektor, yang menghubungkan pipa, pompa, tangki ekspansi dan penukar panas.

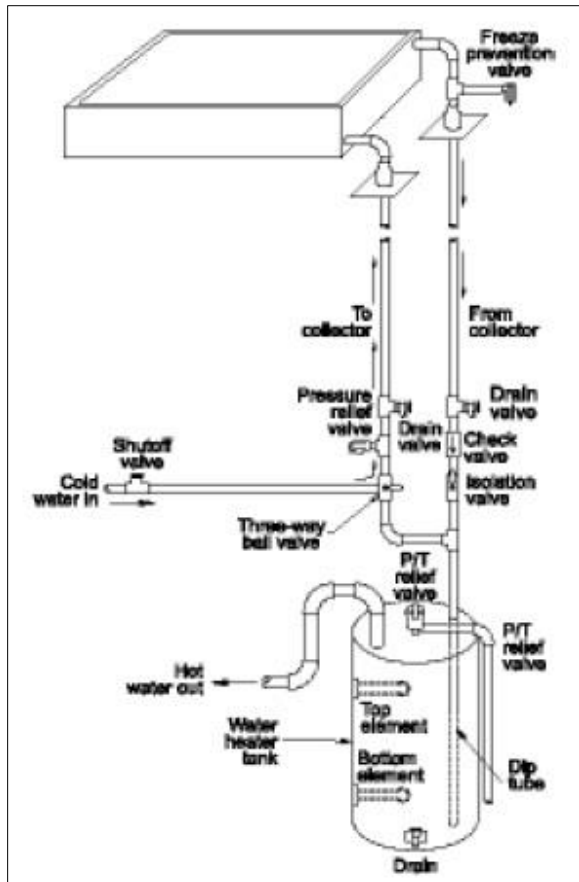


Gambar II-2. Sistem Pemanas Air Aktif (Sirkulasi Tidak Langsung)

Sumber: (Homola, 2004)

2. Pasif, dibagi lagi menjadi 2 yaitu *Integral Collector Storage System (ICS)* dan *Thermosyphon*.
  - *Integral Collector Storage System (ICS)*: sebuah sistem penyimpanan air panas pada jenis ini adalah kolektor. Cara kerjanya, air dingin mengalir melalui kolektor yang dipanaskan oleh matahari. Air panas yang diambil dari atas, dan air pengganti mengalir ke bawah. Sistem ini sederhana karena pompa dan kontroler tidak diperlukan (sistem gravitasi). Di beberapa bangunan, air dingin dari bangunan mengalir ke kolektor dan air panas dari kolektor mengalir ke air panas tangki tambahan yang berada di dalam gedung. Sebuah flush jenis katup perlindungan pembekuan dipasang di pipa diatas dekat kolektor. Jika suhu rendah, katup ini terbuka untuk memungkinkan air hangat mengalir untuk mencegah pembekuan.

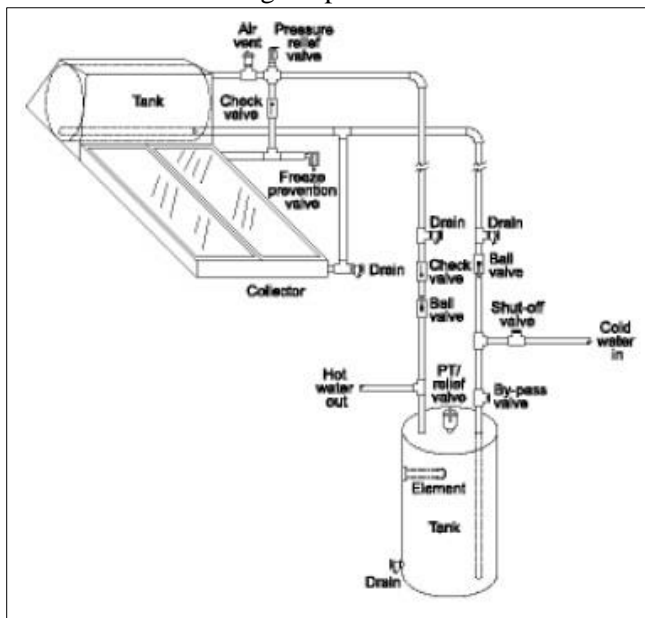




Gambar II-3. Sistem Pemanas Air Pasif (ICS System)  
Sumber: (Homola, 2004)

- *Thermosyphon*: saat matahari bersinar pada kolektor, air di dalam kolektor tabung dipanaskan. Seperti halnya memanaskan, air ini mengembang sedikit dan menjadi lebih ringan dari air dingin dalam tangki penyimpanan solar yang dipasang di atas kolektor. Gaya gravitasi kemudian

menarik lebih berat, air dingin turun dari tangki dan ke inlet kolektor. Air dingin mendorong air yang dipanaskan melalui outlet kolektor dan ke atas tangki, sehingga memanaskan air di dalam tangki. Dalam sistem *thermosyphon* tidak ada kebutuhan untuk pompa sirkulasi dan kontroler. Air mengalir langsung ke tangki di atap. Air panas matahari mengalir dari tangki atap ke tangki tambahan yang dipasang di permukaan tanah setiap kali air digunakan pada bangunan. Sistem *thermosyphon* memiliki katup *thermal* yang dioperasikan untuk melindungi kolektor dari pembekuan. Hal ini juga mencakup katup isolasi, yang memungkinkan sistem surya secara manual dikeringkan pada kasus kondisi beku.



Gambar II-4. Sistem Pemanas Air Pasif (*Thermosyphon*)

Sumber: (Homola, 2004)

Menurut Orumbe Rex. A pada tahun 2015 menyatakan bahwa kolektor surya yang baik untuk di aplikasikan di kapal adalah jenis kolektor pelat datar dengan tabung yang di evakuasi. Dengan sudut kemiringan kolektor surya yang optimal adalah 20-50°. Tetapi tetap menggunakan tangki penyimpanan air panas yang di isolasi agar panas yang dihasilkan dari energi matahari tidak *losses* terlalu banyak. Namun pada penelitian ini dilakukan di daerah sub tropis, sehingga apabila dilakukan di daerah tropis kurang baik hasilnya.

Sedangkan, penelitian yang dilakukan penulis yaitu merencanakan desain sistem pemanas dengan menggunakan *solar water heater* yang dapat di aplikasikan pada kapal penumpang 3175 DWT, dengan menggunakan simulasi TRNSYS untuk mengetahui performa sistemnya.

Tabel II-1. Kesimpulan Penelitian Terdahulu

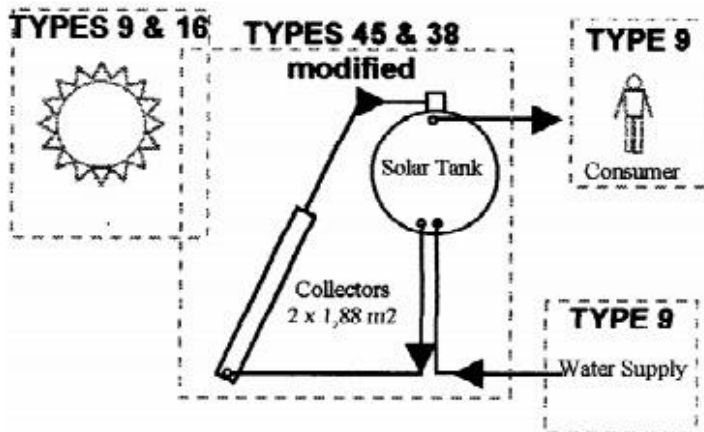
Aspek Penelitian	(Rega Ardian Syah, 2013)	(Christopher A. Homola. PE, 2004)	(Orumbe Rex. A, 2015)	(Lulu Rozy, 2016)
Sistem SWH <i>thermosyphon Passive</i> yang digunakan	V			V
Sistem SWH kolektor pelat datar yang digunakan			V	
Di aplikasikan di kapal	V			V
Menggunakan simulasi di kesimpulan akhir				V

Sistem aktif langsung digunakan	SWH sirkulasi yang		V		
---------------------------------	--------------------	--	---	--	--

### II.1.2 Simulasi Software TRNSYS

Software TRNSYS merupakan kepanjangan dari *Transient System Simulation Tool*. Software TRNSYS merupakan software simulasi yang berkonsentrasi pada pembangkit listrik tenaga surya yang dipilih untuk perhitungan kinerja tahunan. Simulasi TRNSYS memfokuskan pada penilaian kinerja sistem energi panas dan listrik. Software ini banyak digunakan untuk optimasi *renewable energy*. (Kalogirou & Tripanagnostopoulos, 2006)

Muhammad Shoaib Saleem, Aun Haider dan Naeem Abas menyatakan bahwa software TRNSYS memberikan kita metode yang mudah dan alat-alat untuk melakukan perhitungan energi dan analisis aliran daya. TRNSYS adalah salah satu grafis untuk mensimulasikan sistem energi panas dan listrik. TRNSYS digunakan untuk menganalisis surya pemanas air panas dengan sirkulasi paksa *thermosyphon* dan sistem menggunakan kolektor pelat datar (FPC), *heat pipe* yang dievakuasi tabung kolektor (HPETC). Sistem SWH yang digunakan terdiri dari air panas tangki penyimpanan, unit kontrol, pompa dan pelat datar piring, tabung dievakuasi atau berkonsentrasi pada parabola kolektor. HPETC dapat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dari FPC, vakum amplop mengurangi konveksi dan konduksi kerugian. Pipa panas adalah bahan *high konduktivitas thermal*, yang menyediakan fasilitas untuk mengangkut panas dengan kehilangan panas yang sangat rendah dengan beberapa perintah yang lebih rendah daripada konduktor padat lainnya.

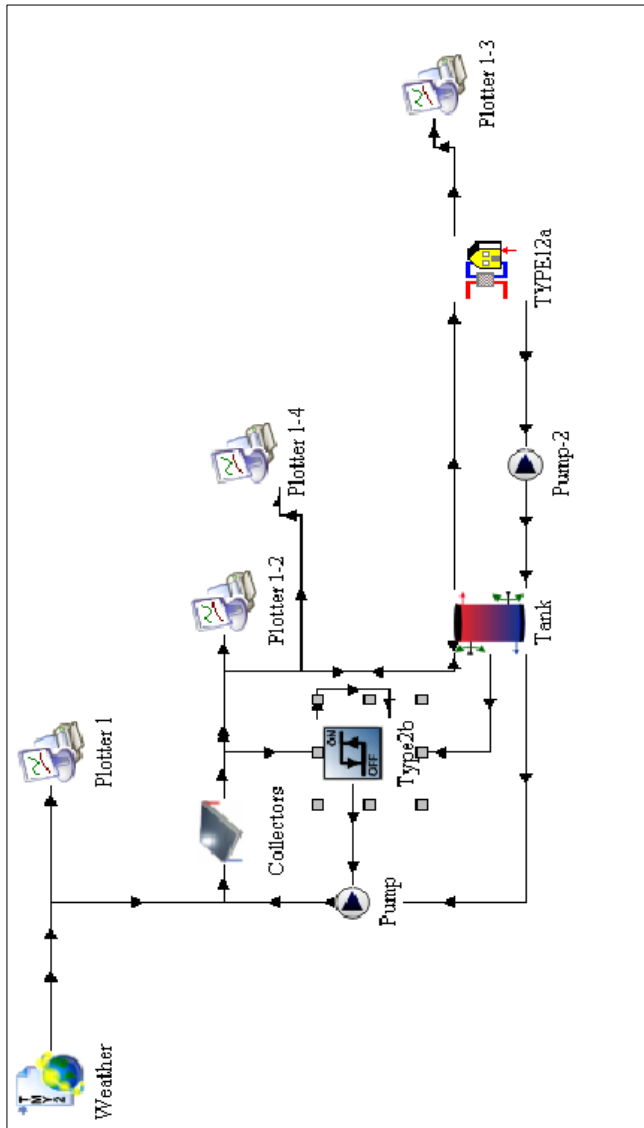


Gambar II-5. Skematika Diagram *Solar Water Heater*

Sumber: (Kalogirou & Tripanagnostopoulos, 2006)

Muhammad Shoaib Saleem, Aun Haider dan Naem Abas menyatakan pada sistem yang dimodelkan pada penelitiannya, dikondisikan dalam keadaan *quasisteady*. Program simulasi TRNSYS menyediakan fleksibilitas untuk semua komponen dalam konfigurasi yang diinginkan. Dua komponen utama dari model ini adalah pelat datar kolektor (Type 73) atau dievakuasi tabung kolektor (Type 538). TRNSYS Jenis 14e yaitu tangki air panas bertekanan yang sudah lama. Pada penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa TRNSYS dapat digunakan untuk menganalisis pemanas air surya termal dengan sirkulasi *Thermoshyphon passive* sistem atau dengan menggunakan kolektor surya pelat datar (FPC). Hasil simulasinya berkaitan dengan efisiensi sistem yang telah dibuat.

TRNSYS diagram arus informasi digunakan untuk memaksa sirkulasi surya sistem pemanas air yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar II-6. Flow Diagram Simulasi TRNSYS

Sumber: (Saleem, Haider, & Abas, 2011)

## II.2 Teori Penunjang

### II.2.1 Pengertian Energi Surya

Energi surya atau energi matahari merupakan sumber energi yang sangat potensial, dimana semua sumber energi yang ada di dunia ini tergantung pada keberadaan matahari. Setiap jam, bumi menerima  $173 \times 10^{12}$  kWh energi dari matahari. Sehingga, selama setahun bisa mencapai 5.160 Q ( $IQ = 2,93 \times 10^{12}$  kWh) energi yang diterima bumi atau setara dengan 12.000 kali energi yang dibutuhkan manusia. Tidak semua energi ini mencapai permukaan bumi. Sebagian energi sebesar 1.570 Q dipantulkan oleh awan, lautan dan daratan. (Neville, 1995)

Sebagian lagi energi panas matahari 1.120 Q digunakan dalam penguapan air dari samudera, danau dan sungai. Sisanya sebesar 2.490 Q tersedia untuk proses fotosintesis, pemanasan permukaan bumi dan sumber energi bagi kebutuhan umat manusia. Memanfaatkan daratan dengan berbasis kolektor energi surya / konverter saja, jumlah pasokan energi potensial surya yang tersedia untuk digunakan oleh manusia sekitar 1.100 Q. Nilai ini masih lebih dari 2.000 kali energi yang dibutuhkan umat manusia. (Neville, 1995)

Pemanfaatan sumber energi surya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel II-2. Sumber Energi Bertenaga Surya  
Sumber: (Neville, 1995)

<b><i>Solar powered energy sources</i></b>	
<i>Immediate source</i>	<i>Remarks</i>
<i>Solar – Thermal</i> ➤ <i>Heating &amp; Cooling</i> ➤ <i>Mechanical</i>	<i>The provision of heat for heating and cooling buildings, process heat and hot water</i>

<p style="text-align: center;"><i>Solar – Electric</i></p> <p>➤ <i>Solar – Thermal – Electric</i></p> <p>➤ <i>Thermoelectricity</i></p> <p>➤ <i>Photovoltaics</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>A variety of techniques for converting the energy in sunlight to electrical energy.</i></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

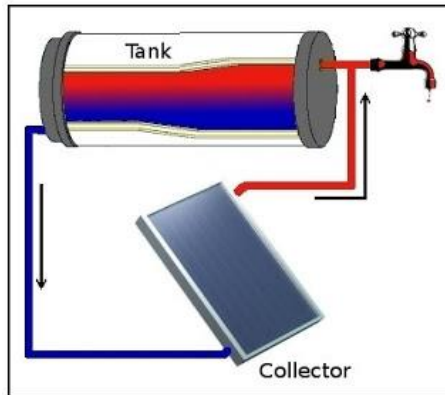
### II.2.2 Pengertian *Solar Water Heater*

*Solar water heater* merupakan sistem yang didesain untuk menghadirkan air panas sepanjang tahun. Cara kerja dari *solar water heater* ini adalah dengan menggunakan prinsip penyerapan tenaga/energi matahari. Berdasarkan sistem cara kerja yang dipakai, pemanas air tenaga surya ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu pemanas air tenaga surya sistem pasif dan pemanas air tenaga surya sistem aktif.

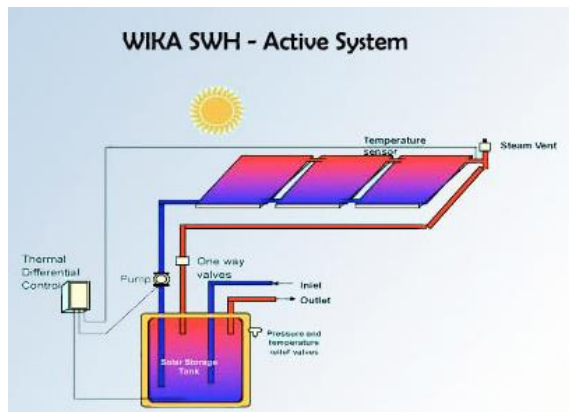
1. Pemanas air tenaga surya sistem pasif memanfaatkan sinar matahari sebagai energi untuk memanaskan air dengan tidak sama sekali membutuhkan energi lain dalam proses produksi air panas. Pemanas air jenis ini terdiri dari 2 komponen utama, yaitu panel kolektor dan tangki penyimpanan, yang terhubung oleh dua pipa. Pada panel kolektor terdapat penutup kaca yang berfungsi menangkap panas sinar matahari yang didalamnya terdapat susunan rangkaian pipa tembaga sebagai jalur air yang dibalut sirip-sirip penyerap panas (absorber). Sedangkan tangki berfungsi seperti termos untuk menampung air panas agar panasnya tahan lama.
2. Pemanas air tenaga surya sistem aktif juga sama seperti pemanas air tenaga surya sistem pasif, pemanas air tenaga surya sistem aktif tetap memanfaatkan energi matahari untuk proses pemanasan airnya, hanya saja untuk pendistribusian air panas dan air dinginnya tetap memerlukan tenaga listrik untuk menggerakkan pompa dan perangkat



kontrol otomatisnya. Pemanas air tenaga surya sistem aktif, dirancang untuk keperluan air panas dalam skala besar, seperti di kapal, hotel-hotel, spa, rumah sakit dan apartemen. Karenanya sistem aktif ini memerlukan komponen pendukung yang lebih kompleks dan kapasitas tangki penampungan yang jauh lebih besar.



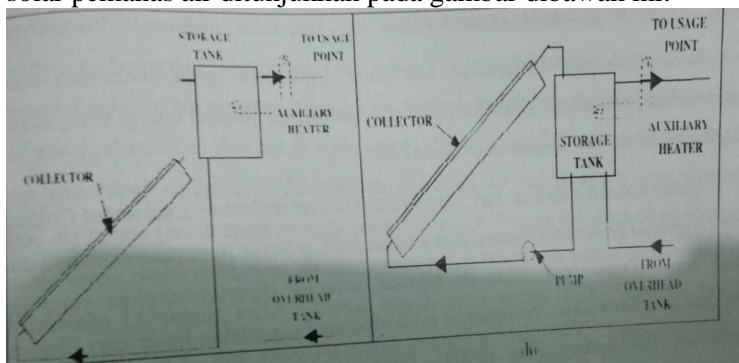
Gambar II-7. Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Pasif  
Sumber: (Wiki, 2012)



Gambar II-8. Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Aktif  
Sumber: (Wiki, 2012)

Sebuah sistem solar pemanas air yang khas terdiri dari sebuah tangki penyimpanan air panas dan kolektor pelat datar. Solar kolektor yang paling umum untuk pemanas air adalah kolektor pelat datar, yang merupakan kotak persegi panjang dengan penutup transparan, dipasang di atap bangunan. Tabung kecil dijalankan melalui kotak dan tabung melekat pada sebuah pelat penyerap selektif dilapisi. Kolektor pelat datar menyerap radiasi matahari dan memanaskan air dingin yang mengalir melalui tabung, yang dikumpulkan dalam tangki penyimpanan terisolasi. Sistem pemanas air dengan menggunakan solar kolektor pelat datar dapat memenuhi baik langsung atau tidak langsung beban pemanasan sampai suhu maksimum  $90 - 95^{\circ}\text{C}$ . (Pillai & Banerjee, 2006)

Sistem yang sederhana, yaitu sirkulasi air dari tangki melalui kolektor radiasi panas dan kembali ke tangki semula yang terjadi secara otomatis dikarenakan perbedaan densitas antara air panas dan dingin, yang disebut dengan *thermosyphon* efek. Dalam sistem yang lebih kompleks, pompa listrik mungkin diperlukan untuk mensirkulasikan air melalui kolektor. Skema dari sistem solar pemanas air ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



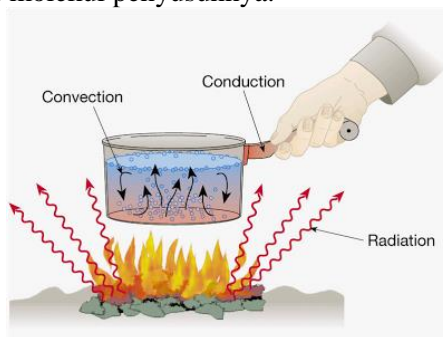
Gambar II-9. Skema Solar Water Heater  
 Sumber: (Pillai & Banerjee, 2006)

Gambar kiri menunjukkan skema sistem *solar* pemanas air sederhana dengan menggunakan *thermosyphon* efek (tanpa pompa). Sedangkan gambar kanan menunjukkan skema sistem *solar* pemanas air dengan menggunakan pompa listrik.

### II.2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah salah satu dari disiplin ilmu teknik termal yang mempelajari cara menghasilkan panas, menggunakan panas, mengubah panas, serta menukarkan panas di antara sistem fisik. Perpindahan panas diklasifikasikan menjadi konduktivitas termal, konveksi termal, radiasi termal, dan perpindahan panas melalui perubahan fasa.

Panas/kalor adalah energi yang berpindah akibat perbedaan suhu. Panas bergerak dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah, seperti yang dijelaskan oleh hukum kedua termodinamika. Dalam kehidupan sehari-hari kita sangat akrab dengan benda atau alat-alat baik yang dapat menghantarkan panas (konduktor) maupun alat yang tidak dapat menghantarkan panas/kalor (isolator). Dikarenakan setiap benda memiliki energi dalam yang berhubungan dengan gerak acak dari atom-atom atau molekul penyusunnya.



Gambar II-10. Perpindahan Panas  
Sumber: (Budisma, 2015)

➤ **Konduksi**

Konduksi adalah perpindahan panas karena adanya kontak langsung antar permukaan benda. Ketika suatu objek memiliki temperatur yang berbeda dari benda atau lingkungan di sekitarnya, panas mengalir sehingga keduanya memiliki temperatur yang sama pada suatu titik kesetimbangan termal. Konduksi ini bergantung pada zat yang dilaluinya dan distribusi temperatur benda yang dilaluinya. Berlangsungnya konduksi ini dapat diketahui dengan perubahan temperatur. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung perpindahan panas secara konduksi :

$$q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{x}$$

Sumber: (Royani, 2015)

Dimana :

$q_{cond}$  = laju perpindahan panas secara konduksi

$k$  = konduktivitas termal

$A$  = luas penampang yang dilewati panas

$\Delta T$  = perbedaan temperatur

$x$  = tebal penampang

Setiap benda memiliki konduktivitas *thermal* tertentu yang dapat mempengaruhi perpindahan panas pada benda, semakin tinggi konduktivitas *thermal* maka semakin cepat benda tersebut dapat mengalirkan panas.

➤ **Konveksi**

Konveksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida cair maupun gas. Aliran fluida akan berlangsung sendiri karena perbedaan masa jenis akibat perbedaan temperatur dan juga dapat dipaksa dengan menggunakan pompa atau

kompressor. Aliran fluida ini dapat terjadi karena proses eksternal, seperti gravitasi atau gaya apung akibat energi panas yang mengembangkan volume fluida. Konveksi panas pada aliran *massa* dapat diartikan sebagai arus panas yang bergantung dengan aliran, luas penampang dan beda temperatur. Persamaan yang dapat digunakan:

$$q_{conv} = h_c A \Delta T$$

Sumber: (Royani, 2015)

Dimana :

$q_{conv}$  = laju perpindahan panas secara konveksi  
 $A$  = luas penampang yang dilewati panas  
 $\Delta T$  = perbedaan temperatur  
 $h_c$  = konduktansi termal

#### ➤ Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas dengan pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik tanpa memerlukan media perantara. Radiasi termal terjadi melalui ruang vakum atau medium transparan. Radiasi termal ini muncul sebagai akibat perpindahan acak dari atom dan molekul benda. Karena atom dan molekul ini terdiri dari partikel bermuatan (proton dan elektron), pergerakan mereka ini menghasilkan pelepasan radiasi elektromagnetik yang membawa energi. Radiasi dari matahari dapat digunakan untuk panas dan tenaga listrik. Radiasi termal dapat dikumpulkan di sebuah titik kecil dengan menggunakan kaca pemantul.

Persamaan yang dapat digunakan:

$$q_r = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

Sumber: (Royani, 2015)

Dimana :

$q_r$  = energi radiasi  
 $A$  = luas permukaan  
 $\sigma$  = konstanta Boltzman

$T_1$	= suhu pada permukaan benda
$T_2$	= suhu yang mengelilingi benda

#### II.2.4 Sistem Domestik

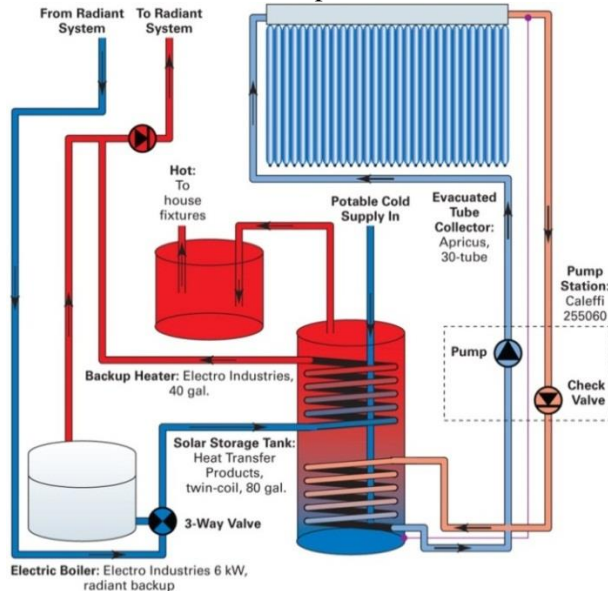
Sistem domestik merupakan sistem yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan *fresh water* dan *sea water* untuk kebutuhan *crew* kapal selama pelayaran dan akomodasi. Sistem domestik digunakan pada ruangan:

- Tempat cuci (*laundry*)
- Dapur (*galley*)
- Kamar mandi
- Wastafel
- Pencucian geladak

Sistem ini terdiri dari 2 *sub system* yaitu, *fresh water* (FW) *supply system* dan *sea water* (SW) *supply system*. Dimana komponen utama dari sistem tersebut adalah:

- *Sea chest* :  
Merupakan lubang tempat masuknya air laut untuk kebutuhan air laut di kapal
- *Sea water pipe* :  
Tempat mengalirnya air laut di dalam sistem
- *Sea water pump* :  
Untuk memindahkan air laut dari *sea chest* menuju *sea water hydrophore*
- *Sea water hydrophore* :  
Tempat menyimpan air laut sebelum didistribusikan untuk keperluan *domestic*
- *Fresh water tank* :  
Digunakan untuk menyimpan kebutuhan air tawar selama pelayaran
- *Fresh water pipe* :  
Tempat mengalirnya air tawar di dalam sistem
- *Fresh water pump* :  
Untuk memindahkan air tawar dari *fresh water tank* ke *fresh water hydrophore*

- *Fresh water hydrophore* : Tempat menyimpan air tawar sebelum didistribusikan untuk keperluan *domestic*



Gambar II-11. Contoh Skema *Domestic Water System*  
 Sumber: (Budisma, 2015)

## II.2.5 Aturan Kebutuhan Air Panas

Peraturan mengenai kebutuhan air panas untuk keperluan domestik terdapat pada MLC (*Maritime Labour Convention*) di regulation 3.1 “*Accommodation and Recreational Facilities*”.

### 1. Poin A3.1 nomor 11 D

*“With the exception of passenger ships, each sleeping room shall be provided with a washbasin having hot and cold running fresh water, except where such a washbasin is situated in the private bathroom provided.”*

Dijelaskan untuk pengecualian kapal penumpang setiap tempat tidur yang ada di kapal apabila disediakan *wash basin* maka dilengkapi air hangat dan air dingin kecuali kamar mandi pribadi.

2. Poin B3.1.9 *Other Facilities*

*“Where separate facilities for engine department personnel to change their clothes are provided, they should be:*

- *Located outside the machinery space but with easy access to it; and*
- *Fitted with individual clothes lockers as well as with tubs or showers or both and washbasins having hot and cold running fresh water.”*

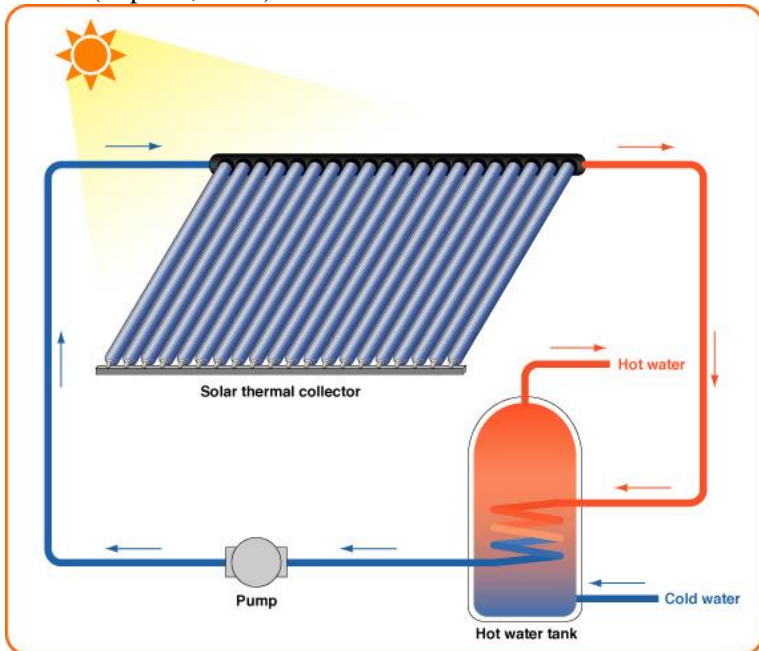
Pada poin ini dijelaskan bahwa tempat untuk mengganti pakaian kerja harus dilengkapi dengan *tubs* atau *shower* atau keduanya dan wastafel memiliki air dingin dan air hangat.

## II.2.6 Sistem *Solar Water Heater*

Sistem *solar water heater* adalah proses laju aliran fluida air dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan menggunakan energi panas matahari. Terjadinya perubahan temperatur yang meningkat dikarenakan pengaruh dari pemanasan radiasi matahari yang diterima kolektor, sehingga suhu pada katup keluar meningkat. Besarnya energi panas radiasi matahari yang diterima kolektor mempengaruhi kenaikan suhu pada air tersebut. Kemudian air panas tersebut disimpan pada tangki air panas (*hot water*) yang di isolasi dengan tujuan mempertahankan suhu air yang diharapkan. Setelah tangki air panas penuh pompa (*cold water*) dimatikan dan katup pada tangki ditutup. Apabila suhu dalam tangki belum mencapai suhu yang diharapkan maka air di sirkulasi lagi dengan pompa air panas (*hot water*) menuju *solar collector*. Proses ini dilakukan sampai suhu



air tawar memenuhi. Setelah memenuhi suhu yang diharapkan, katup tangki air panas dibuka dan di distribusikan ke semua toilet atau kamar mandi pada setiap *deck* di kapal. Suhu air tawar normal adalah  $23^{\circ}\text{C}$  dan suhu air hangat normal untuk mandi adalah  $38^{\circ}\text{C}$ . (Saputra, 2012)



Gambar II-12. Skema *Solar Water Heater*

Sumber: (Kusuma, 2013)

### II.2.7 Aspek Utama Dalam Aplikasi *Solar Water Heater*

Terdapat 5 aspek utama untuk merencanakan sistem *solar water heater*, yaitu:

1. *Heat Collection*

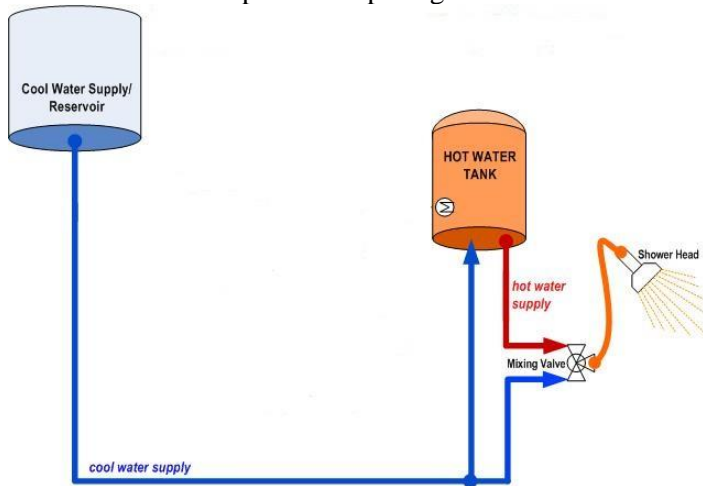
*Heat collection* merupakan aspek penjemput dan penyerapan panas dari matahari, biasanya dilakukan oleh panel-panel kaca.

2. *Heat Transfer*  
*Heat transfer* merupakan aspek pentransfer panas, dimana dalam sistem *solar water heater* media transfer panasnya adalah air.
3. *Heat Storage*  
*Heat storage* merupakan aspek penyimpanan air yang dipanaskan untuk kemudian di *supply* pada sistem yang membutuhkan *hot water*. *Heat storage* ini juga dapat berfungsi untuk menjaga temperatur air panas yang dihasilkan dari *solar collector* agar tetap sesuai dengan yang diinginkan (*heat loss* yang dihasilkan sedikit).
4. *Heat Backup*  
*Heat backup* merupakan aspek cadangan. Sistem *solar water heater* sangat bergantung pada keberadaan matahari, sehingga membutuhkan sistem *backup* / cadangan yang baik misalnya *heater electric*, *heater gas*, dll yang mampu digunakan ketika sistem *heating* dengan pemanfaatan energi matahari tidak memungkinkan diserap. Hal ini dapat digunakan ketika musim hujan dan pada malam hari.
5. Perlindungan Dari *Over Heating*  
 Perlindungan sistem *solar water heater* dari *over heating* dapat dicegah dengan menggunakan *special valve*, pompa, *processes*, dll. (Ardiansyah, 2013)

## II.2.8 Hot Water Shower Pada Sistem Domestik

Pada umumnya instalasi *hot shower* yang dipakai pada sistem domestik adalah sistem *mixing*, dimana air panas yang terdapat di *storage tank* dicampur kembali dengan air dingin. Hal ini dilakukan karena air panas di dalam *storage tank* masih memiliki temperatur yang tinggi. Sistem *mixing* ini di *supply* dari pipa yang berbeda sehingga mengurangi resiko variasi aliran maupun tekanan dan mengeliminasi resiko *back flow*.

Instalasi tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar II-13. Instalasi *Hot Water* Pada Sistem Domestik  
Sumber: (Ardiansyah, 2013)

### II.2.9 Keamanan Dalam Pemakaian *Hot Water Shower*

Menggunakan air panas yang berlebihan dapat menyebabkan cedera. Cedera yang dimaksud ada 2 jenis yaitu, cedera karena panas *scalding* dan cedera karena *thermal shock*. Namun, jenis cedera *scalding* sangat jarang ditemukan.

Hal ini perlu diperhatikan karena dengan meningkatkan suhu dari air panas sedikit saja, maka efek *scalding* akan terasa jauh lebih serius, misalnya pada temperatur  $45^{\circ}\text{C}$  terjadi kerusakan pada kulit akan terasa ketika terpapar selama 2 jam, namun apabila air panas tersebut temperatur nya dinaikkan  $2^{\circ}\text{C}$  menjadi  $47^{\circ}\text{C}$ , maka akan terjadi kerusakan pada kulit hanya dalam waktu 20 menit saja. Oleh karena itu hal ini perlu diperhatikan dalam perencanaan penggunaan sistem *hot water* agar hal demikian tidak terjadi karena sangat membahayakan pemakai / konsumen dari sistem tersebut.

Informasi mengenai resiko kulit terbakar dan lama waktu terjadinya efek *scalding* didapatkan dari penelitian Drs. Moritz dan Henriques di Sekolah Kedokteran Harvald pada tahun 1940. Pada penelitian tersebut, lama waktu terjadinya kulit terbakar dibagi menjadi 2 tahap yaitu tahap pertama dan tahap kedua yang dipengaruhi oleh temperatur dan lama waktu kulit terpapar *hot water*. (Ardiansyah, 2013)

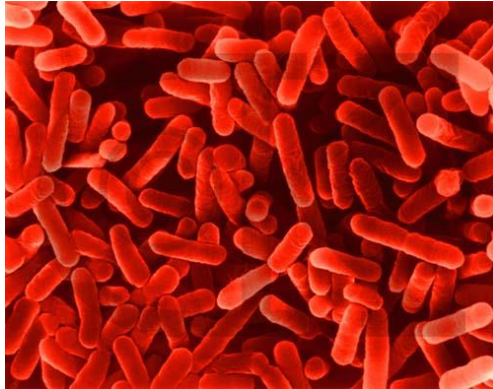
Tabel II-3. *Water Temperature Effects on Adult Epidermis*  
Sumber: (Ardiansyah, 2013)

<i>Temperature</i>		<i>First Degree</i>	<i>Second Degree</i>
<sup>0</sup> C	<sup>0</sup> F	<i>No Reversible Damage</i>	<i>Full Thickness Injury</i>
44 <sup>0</sup> C	111 <sup>0</sup> F	4.5 hours	5 hours
45 <sup>0</sup> C	113 <sup>0</sup> F	2 hours	3 hours
47 <sup>0</sup> C	116.4 <sup>0</sup> F	20 minutes	45 minutes
48 <sup>0</sup> C	118.4 <sup>0</sup> F	15 minutes	20 minutes
49 <sup>0</sup> C	120 <sup>0</sup> F	8 minutes	10 minutes
51 <sup>0</sup> C	124 <sup>0</sup> F	2 minutes	4.2 minutes
52 <sup>0</sup> C	125.6 <sup>0</sup> F	45 seconds	1.5 minutes
53 <sup>0</sup> C	127.4 <sup>0</sup> F	30 seconds	60 seconds
55 <sup>0</sup> C	131 <sup>0</sup> F	17 seconds	30 seconds
60 <sup>0</sup> C	140 <sup>0</sup> F	3 seconds	5 seconds
66 <sup>0</sup> C	151 <sup>0</sup> F	-	2 seconds
70 <sup>0</sup> C	158 <sup>0</sup> F	-	1 seconds

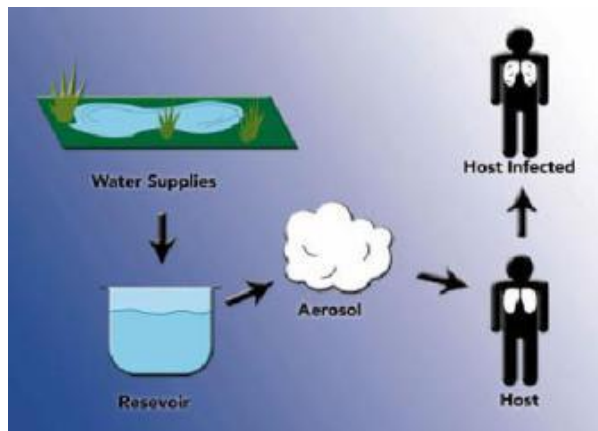
Selain yang tercantum diatas, untuk keamanan pada sistem pemanas air harus diperhatikan 2 faktor penting:

1. *Scalding*  
*Scalding* adalah terbakarnya kulit akibat efek dari lamanya kulit yang terpapar *hot water* sehingga dapat merusak bagian epidermis kulit.
2. *Legionella*  
*Legionella* adalah *pathogen* yang umum dijumpai pada tangki sistem pemanas air dan sangat

merugikan. Hal ini dikarenakan *pathogen* tersebut dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit paru-paru dan pneumonia. *Pathogen* ini aktif dan membelah diri pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $50^{\circ}\text{C}$  dan sangat membahayakan karena air yang tercemar oleh *pathogen* ini apabila terjadi penguapan, maka udara akan terkontaminasi.



Gambar II-14. Bakteri *Legionella*  
Sumber: (Krisno, 2011)



Gambar II-15. Penyebaran Bakteri *Legionella*  
Sumber: (Krisno, 2011)

Menurut *The Chartered Institute of Plumbing and Heating Engineering*, untuk mencegah terjadinya *scalding* dan mencegah bahaya bakteri *legionella* maka dalam perencanaan sistem *hot water* harus diperhatikan temperatur air yang dibutuhkan untuk membunuh bakteri *legionella* dan temperatur maksimal untuk pencegahan.

- ✚ Efek temperatur terhadap *scalding* :
  - 65°C = kulit luar terbakar dalam 2 detik
  - 60°C = kulit luar terbakar dalam 5 detik
  - 55°C = kulit luar terbakar dalam 15 detik
  - 50°C = kulit luar terbakar dalam 90 detik
- ✚ Temperatur air hangat yang aman bagi kulit :
 

<i>Bidet</i>	= 36°C
<i>Shower</i>	= 38°C
<i>Washbasin</i>	= 41°C
<i>Bath</i>	= 44°C
<i>Supervised bath</i>	= 46°C

## II.2.10 Heat Insulation Material

Insulasi termal adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas/kalor. Energi panas tersebut dipindahkan dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Adanya *insulation* dapat memberikan beberapa manfaat diantaranya menghemat energi dengan mengurangi *heat loss*, menjaga suhu permukaan, mencegah aliran uap dan kondensasi pada permukaan yang dingin. Insulasi termal ini dibagi menjadi 3 *range* suhu, yaitu:

- *Low Temperature Insulation*
  - Air dingin (15°C sampai 0°C)
  - *Refrigeration* atau *glycol* (0°C sampai -75°C)
- *Intermediate Temperature Thermal Insulation*
  - Air panas dan *steam condensate* (16°C sampai 100°C)

- Uap dan air panas temperatur tinggi (101°C sampai 315°C)
- *High Temperature Insulation*
  - Untuk *turbine, exhaust, incenerators*, dan *boiler* (316°C sampai 815°C)

Material yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas disebut isolator atau insulator. Material yang biasa digunakan sebagai insulasi pada pipa adalah *glass fiber pipe covering*. Insulasi termal pada pipa difungsikan agar temperatur yang berada pada pipa *relative* tetap dan tidak berubah. Bahan yang digunakan akan sangat bermacam-macam dalam sebuah pipa, tergantung fluida yang ada di dalam pipa tersebut dan juga berapa temperatur yang beroperasi. Kadangkala, faktor ekonomis dalam sebuah *project* juga menentukan jenis insulasi yang digunakan dalam sebuah pipa.

Tabel II-4. Beberapa Jenis Bahan Insulasi Pipa  
Sumber: (Royani, 2015)

<i>Insulation Material</i>	<i>Temperature Range</i>			
	<i>Low</i>		<i>High</i>	
	(°C)	(°F)	(°C)	(°F)
<i>Calcium Sillicate</i>	-18	0	650	1200
<i>Cellular Glass</i>	-260	-450	480	900
<i>Elastomeric Foam</i>	-55	-70	120	250
<i>Fiberglass</i>	-30	-20	540	1000
<i>Mineral Wool, Ceramic Fiber</i>			1200	2200
<i>Mineral Wool, Glass</i>	0	32	250	480
<i>Mineral Wool, Stone</i>	0	32	760	1400
<i>Phenolic Foam</i>			150	300
<i>Polyisocyanurate or Polyiso</i>	-180	-290	150	300
<i>Polystyrene</i>	-50	-60	75	165
<i>Polyurethane</i>	-210	-350	120	250
<i>Vermiculite</i>	-272	-459	760	1400

Sedangkan untuk insulasi tangki, material yang biasa digunakan adalah *glass fiber blanket*. *Glass fiber* sering digunakan dikarenakan material insulasi ini tidak mudah terbakar, kuat, dan anti air.

### II.2.11 Kebutuhan Air Hangat Untuk Mandi

Pada dasarnya mandi menggunakan air hangat memang memberikan kenyamanan tersendiri. Air hangat serasa menjadi penyegar bagi tubuh untuk kembali bersemangat. Tergantung dari temperatur air yang digunakan dan berapa lama waktu yang dihabiskan untuk mandi dapat memberi manfaat yang berbeda. Untuk menentukan kebutuhan air hangat dan air panas di kapal dengan mempertimbangkan dari segi kebutuhan, jumlah ABK dan penumpang di kapal, serta fasilitas domestik yang menggunakan *hot water*. Sebagai pertimbangan kapasitas tiap kebutuhan, maka digunakan referensi dari buku *Hot and Cold Water Supply R.H Garret, Eng Tech* pada tahun 1988:

Outlet fitting	Design flow rate l/s	Minimum flow rate l/s	Loading units
WC flushing cistern single or dual flush	0.13	0.01	2
WC trough cistern	0.15 per WC	0.01	2
Wash basin tap size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.15 per tap	0.01	1½ to 3
Spray tap or spray mixer	0.05 per tap	0.03	—
Bidet	0.20 per tap	0.01	1
Bath tap, nominal size $\frac{3}{4}$ – DN 20	0.30	0.20	10
Bath tap, nominal size 1 – DN 25	0.60	0.40	22
Shower head (will vary with type of head)	0.20 hot or cold	0.10	3
Sink tap, nominal size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.20	0.10	3
Sink tap, nominal size $\frac{3}{4}$ – DN 20	0.30	0.20	5
Washing machine size $\frac{1}{2}$ DN 15	0.20 hot or cold	0.15	—
dishwasher size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.15	0.10	3
Urinal flushing cistern	0.004 per position served	0.002	—

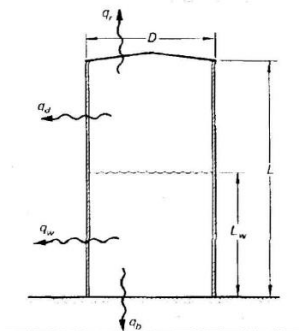
Gambar II-16. Desain Kapasitas Peralatan  
Sumber: (Garret, 1988)



### II.2.12 Insulasi Tangki

Hilangnya kalor pasti akan terjadi pada sebuah tangki penyimpanan air panas (*hot water*), walaupun tangki tersebut telah di insulasi. Kehilangan kalor secara bertahap pada fluida yang ada di dalam tangki dapat menyebabkan penurunan temperatur fluida. Oleh karena itu, diperlukan perhitungan untuk menentukan kehilangan kalor yang terjadi dalam setiap ukuran waktu pada tangki penyimpanan air panas (*hot water*), sehingga dapat diketahui seberapa lama air panas (*hot water*) dapat disimpan untuk suplai ke sistem domestik, sebelum diganti dengan air panas yang baru.

Untuk menentukan *heat loss* yang terjadi di dalam tangki, dapat menggunakan perumusan dan metode yang ditulis oleh Jimmy D. Kumana dan Samir P. Kothari tahun 2009 dalam paper *Predict Storage-Tank Heat Transfer Precisely*. Didalam paper yang ia tulis, dikatakan bahwa *storage tank* memiliki beberapa bentuk dan ukuran, diantaranya *horizontal-cylindrical* dan *spherical tank* yang dapat digunakan untuk *liquid under pressure*, serta *vertical-cylindrical with flat bottom and conical roof* yang dapat digunakan untuk tangki bertekanan sama dengan tekanan atmosfer.



Gambar II-17. *Vertical Cylindrical Tank*

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Prinsip perhitungan *heat loss* pada tangki tekan vertikal dijelaskan pada gambar dibawah ini, dimana *heat loss* yang terjadi keluar melewati dinding atas ( $q_r$ ), dinding samping yang kering ( $q_d$ ), dinding samping yang basah ( $q_w$ ) dan pada alas tangki ( $q_b$ ) secara radiasi, konveksi maupun konduksi. Adapun tahapan untuk menghitung *heat loss* yaitu:

1. Data masukan perhitungan
2. Perhitungan luasan daerah masing-masing dinding
3. Perhitungan koefisien termal masing-masing dinding
4. Koreksi temperatur dinding dalam dan luar masing-masing dinding
5. Perhitungan koefisien termal masing-masing dinding dengan menggunakan koreksi temperatur dinding
6. Perhitungan *heat losses* yang terjadi
7. Kesimpulan akhir (temperatur akhir)

Didalam paper “*Predict Storage-Tank Heat Transfer Precisely*” oleh Jimmy D. Kumana dan Samir P. Kothari untuk menghitung *heat transfer* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_d = U_d A_d (T_V - T_A)$$

$$q_w = U_w A_w (T_L - T_A)$$

$$q_b = U_b A_b (T_L - T_G)$$

$$q_r = U_r A_r (T_V - T_A)$$

$$Q = q_d + q_w + q_b + q_r$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Dimana:

$q_d$  = *heat loss* pada *dry sidewall* [Btu/h]

$q_w$  = *heat loss* pada *wet sidewall* [Btu/h]

$q_b$  = *heat loss* pada *tank bottom* [Btu/h]

$q_r$  = *heat loss* pada *tank roof* [Btu/h]

$Q$  = total *heat loss* [Btu/h]

$U_d$  = *heat transfer coefficient* pada *dry sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h °F]

$U_w$	= <i>heat transfer coefficient</i> pada <i>wet sidewall</i> [Btu/ft <sup>2</sup> h °F]
$U_b$	= <i>heat transfer coefficient</i> pada <i>tank bottom</i> [Btu/ft <sup>2</sup> h °F]
$U_r$	= <i>heat transfer coefficient</i> pada <i>tank roof</i> [Btu/ft <sup>2</sup> h °F]
$A_d$	= luas penampang pada <i>dry sidewall</i> [ft <sup>2</sup> ]
$A_w$	= luas penampang pada <i>wet sidewall</i> [ft <sup>2</sup> ]
$A_b$	= luas penampang pada <i>tank bottom</i> [ft <sup>2</sup> ]
$A_r$	= luas penampang pada <i>tank roof</i> [ft <sup>2</sup> ]
$T_V$	= temperatur uap [°F]
$T_A$	= temperatur <i>ambient</i> [°F]
$T_L$	= temperatur <i>liquid</i> [°F]
$T_G$	= temperatur <i>ground</i> [°F]

Dan untuk menentukan luas penampang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_d &= \pi D (L - L_w) \\
 A_w &= \pi D L_w \\
 A_b &= \frac{\pi D^2}{4} \\
 A_r &= \left(\frac{\pi D}{2}\right) \left(\frac{D^2}{4} + d^2\right)^{1/2}
 \end{aligned}$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Dimana:

$D$	= diameter tangki [ft]
$L$	= panjang permukaan <i>heat transfer</i> [ft]
$L_w$	= panjang <i>wetted surface</i> [ft]
$d$	= tinggi <i>conical roof</i> [ft]

Sedangkan koefisien *heat transfer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_{Vw}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rd})} + \frac{1}{h_{Fd}}$$

$$\frac{1}{U_w} = \frac{1}{h_{Lw}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rw})} + \frac{1}{h_{Fw}}$$

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{h_{Lb}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rw})} + \frac{1}{h_{Fw}}$$

$$\frac{1}{U_r} = \frac{1}{h_{vr}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rd})} + \frac{1}{h_{Fd}}$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Dimana:

- $h_{Vw}$  = koef. termal *vapor wet sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Aw}$  = koef. termal udara luar dinding [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Rd}$  = koef. radiasi *dry sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Fd}$  = koef. termal *fouling dry sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Rw}$  = koef. radiasi *wet sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Fw}$  = koef. termal *fouling wet sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Lb}$  = koef. termal fluida *tank roof* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Fb}$  = koef. termal *fouling tank bottom* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $h_{Lw}$  = koef. termal fluida *wet sidewall* [Btu/ft<sup>2</sup> h]
- $t_M$  = material *thickness* tangki [ft]
- $k_M$  = konduktivitas termal material tangki [Btu/ft h]
- $t_I$  = insulasi *thickness* tangki [ft]
- $k_I$  = konduktivitas termal insulasi tangki [Btu/ft h]

Rumus yang digunakan untuk mencari koefisien termal dinding yaitu:

➤ Dinding vertikal

$$h = Nnu \times \frac{k}{L} - L_w$$

➤ Dinding horizontal (atap)

$$h = \left( \frac{0.27k}{D} \right) \times (NGR \times NPR)$$

➤ Dinding horizontal (alas)

$$h = \left( \frac{0.14k}{D} \right) \times (NGR \times NPR)$$

Sedangkan rumus yang digunakan untuk menghitung NGR dan NPR adalah

➤ Untuk fase *liquid*

$$NGR = L^3 \times \rho^2 \times g \times \beta \times \frac{\Delta T}{\mu}$$

$$NPR = cp \times \frac{\mu}{k}$$

➤ Untuk fase *vapor*

$$NGR = 1.9 \times 10^7 \times (L - L_w)^3 \times (T_v - T_w)$$

$$NPR = 0.28$$

Nnu untuk fase *liquid* dan *vapor* untuk dinding *vertical* adalah:

$$Nnu = 0.138 \times NGR^{0.36} \times (NPR^{0.175} - 0.55),$$

ketika  $0.1 < NPR < 40, NGR > 10^9$

$$Nnu = 0.495 \times (NGR \times NPR)^{0.25},$$

ketika  $NPR > 100$  dan  $10^4 < (NGR \times NPR) < 10$

Nnu untuk fase *liquid* dan *vapor* untuk dinding *horizontal* adalah:

➤ Atap

$$Nnu = 0.14 \times (NGR \times npr)^{0.33}$$

➤ Alas

$$Nnu = 0.27 \times (NGR \times NPR)^{0.25}$$

Dimana:

$h$  = koefisien termal dinding

$k$  = konduktivitas termal [Btu/ft h °F]

$L$  = tinggi tangki [ft]

$Nnu$  = *Nusselt number*

$NGR$  = *Grashoft number*

$NPR$  = *Prandtl number*

$L_w$  = tinggi fluida

$\rho$  = massa jenis fluida

$g$  = gravitasi

$\beta$	= <i>thermal expansion</i>
$\Delta T$	= perbedaan suhu
$\mu$	= viskositas fluida
$T_v$	= suhu <i>vapour</i>
$T_w$	= suhu fluida

Rumus untuk mencari koefisien *heat transfer* adalah:

➤ Konduksi

$$h_m = \frac{k_m}{t_m}$$

$$h_i = \frac{k_i}{t_i}$$

➤ Radiasi

$$h_r = \frac{0.1713\varepsilon}{T_{ws} - T_a} + \left[ \frac{(T_{ws} + 460)^4}{100} - \frac{(T_a + 460)^4}{100} \right]$$

Dimana:

$h_m$	= koef. termal konduksi material [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$k_m$	= konduktivitas termal material [Btu/ft h]
$t_m$	= tebal material [ft]
$h_i$	= koef. termal konduksi insulator [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$k_i$	= konduktivitas termal insulator [Btu/ft h]
$t_i$	= tebal insulator [ft]
$h_r$	= koefisien radiasi [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$\varepsilon$	= <i>emissivity</i> material (0.9 untuk benda hitam)
$T_{ws}$	= temperatur dinding luar <i>insulated surface</i> [K] = $T_a + 0.25 (T_{bulk} - T_a)$
$T_a$	= Temperatur <i>ambient</i> [K]

Rumus koreksi temperatur adalah:

$$T_{ws} = \left( \frac{U}{h_r} + h_{Aw} \right) \times (T_{fluida} - T_{ambient}) + T_{ambient}$$

$$T_w = T_{fluida} - \left( \frac{U}{h} \right) (T_{fluida} - T_{ambient})$$

Dimana:

$T_{ws}$	= temperatur dinding luar [K]
$T_w$	= temperatur dinding dalam [K]
$U$	= koefisien termal dinding [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$h_r$	= koefisien radiasi [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$h_{Aw}$	= koefisien termal udara luar [Btu/ft <sup>2</sup> h]
$T_{fluida}$	= temperatur fluida [K]
$T_{ambient}$	= temperatur <i>ambient</i> [K]
$h$	= koef termal dinding konveksi [Btu/ft <sup>2</sup> h]

### II.2.13 Insulasi Pipa

Tujuan utama dalam insulasi pipa adalah untuk mempertahankan panas. Temperatur fluida di dalam pipa perlu dijaga agar lebih tinggi dari pada temperatur *ambient* dengan alasan sebagai berikut :

- ✚ mencegah pembentukan hidrat gas
- ✚ mencegah pembentukan *wax* atau aspal
- ✚ memelihara sifat aliran fluida
- ✚ meningkatkan *cool down time* setelah *shut down*
- ✚ memenuhi kebutuhan operasional lainnya

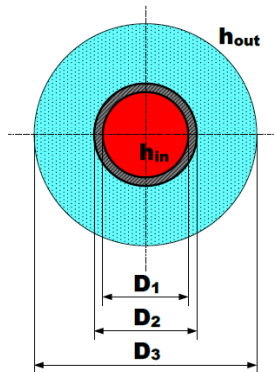
Dasar pemasangan insulasi pada pipa dapat dilihat pada gambar dibawah. Menurut Z. K. Morvay, D. D. Gvozdenac tahun 2008, pada paper “*Applied Industrial Energy and Environmental Management*”, koefisien perpindahan panas dari insulasi pipa dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{D_3 \cdot \ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2 \cdot k_{INSULATION}} + \frac{1}{h_{OUT}}}$$

Sumber: (Morvay & Gvozdenac, 2008)

Dimana:

$U$	= koefisien perpindahan panas total [ $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ]
$D_3$	= diameter luar insulasi [mm]
$D_2$	= diameter luar pipa [mm]
$k_{\text{INSULATION}}$	= konduktivitas termal insulasi [ $\text{W/m K}$ ]
$h_{\text{OUT}}$	= koefisien perpindahan panas insulasi [ $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ]



Gambar II-18. *Cross Section of Insulated Pipe*

Sumber: (Morvay & Gvozdenac, 2008)

Insulasi memiliki sifat yang berbeda dan keterbatasan tergantung pada layanan, lokasi, dan umur panjang yang dibutuhkan dari aplikasi. Hal ini diperhitungkan juga ketika mempertimbangkan isolasi kebutuhan yang akan digunakan untuk aplikasi industri atau komersial.

➤ *Thermal Resistance (R)* ( $\text{F h ft}^2 / \text{Btu}$ )

Kuantitas ditentukan oleh perbedaan suhu, pada *steady state*, antara dua permukaan didefinisikan dari bahan atau konstruksi yang menginduksi panas unit laju aliran melalui satuan luas. Sebuah resistansi yang dikaitkan dengan bahan akan ditentukan sebagai bahan R. Sebuah resistansi yang dikaitkan dengan sistem atau konstruksi harus ditetapkan sebagai R. sistem.



- Konduktivitas Panas *Apparent* (Btu masuk / h F ft<sup>2</sup>)  
Sebuah konduktivitas termal ditugaskan untuk bahan yang menunjukkan transmisi termal dengan beberapa mode perpindahan panas sehingga variasi properti dengan ketebalan spesimen atau daya pancar permukaan.
- Termal Konduktivitas (k) (Btu masuk / h F ft<sup>2</sup>)  
Laju aliran panas waktu *steady state* melalui satuan luas dari bahan homogen disebabkan oleh gradien suhu satuan dalam arah tegak lurus dengan satuan luas. Bahan dengan faktor k rendah adalah isolator yang lebih baik.
- Kepadatan (lb/ft<sup>3</sup>) (kg/m<sup>3</sup>)  
Ini adalah berat volume tertentu bahan yang diukur dalam *pound* per kaki kubik (kilogram per meter kubik).



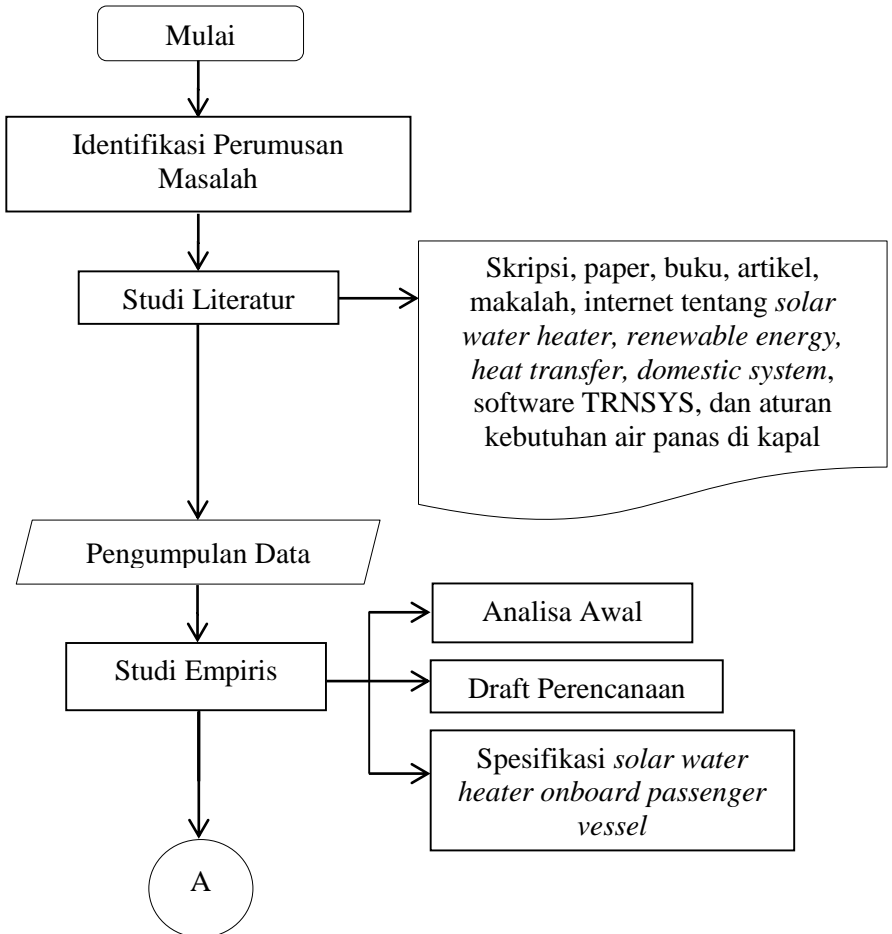
Gambar II-19. Insulasi Pipa  
Sumber: (Surya, 2013)

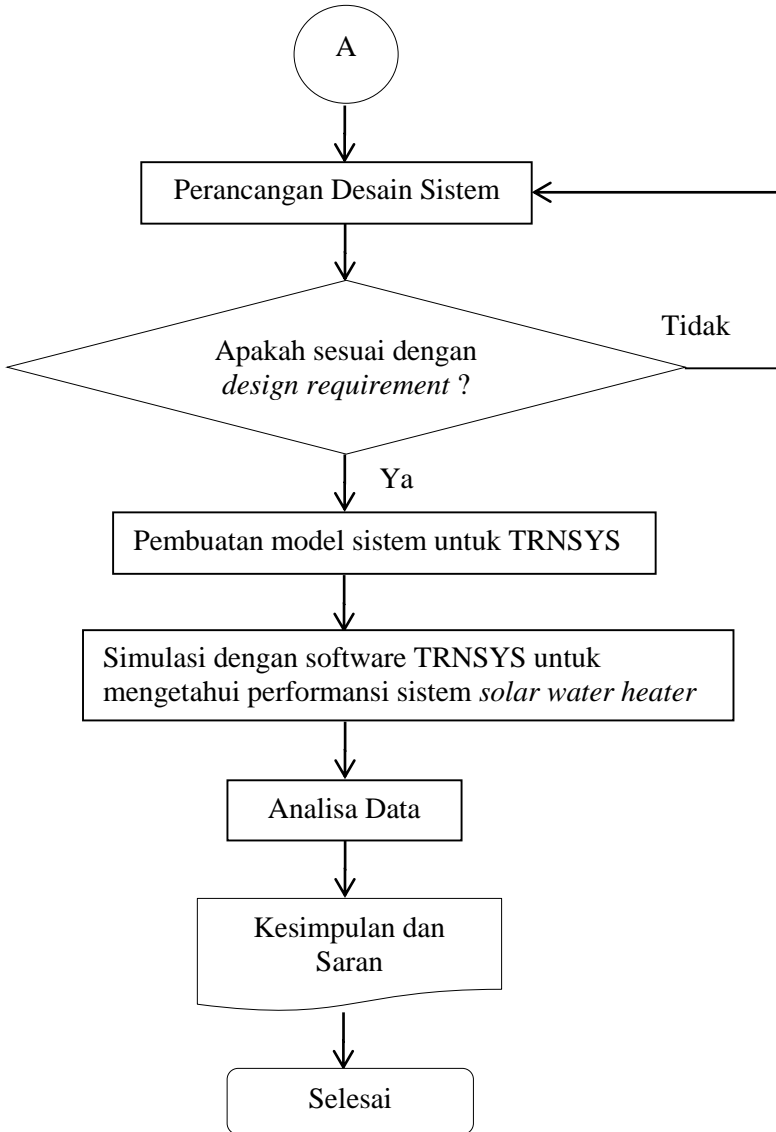
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB III. METODOLOGI

### III.1 *Flowchart*

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metodologi seperti pada *flowchart* di bawah ini:





### **III.2 Deskripsi *Flowchart***

Dalam pembuatan tugas akhir ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Secara umum metodologi pada tugas akhir ini terdiri dari perhitungan, perancangan sistem dan simulasi kebutuhan air panas untuk sistem domestik di kapal penumpang agar dapat menggunakan teknologi energi terbarukan matahari “*solar water heater*”. Adapun tahapan-tahapannya adalah sebagai berikut :

#### **1. Identifikasi dan Perumusan Masalah**

Mengidentifikasi permasalahan yang terjadi untuk menentukan perumusan masalah apa saja yang akan diambil. Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan tugas akhir. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah mengapa suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam tugas akhir. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa tugas akhir ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam tugas akhir ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah penggunaan teknologi energi terbarukan matahari “*solar water heater*” untuk aplikasi sistem domestik yang ada di kapal penumpang KM. Dorolonda.

#### **2. Studi Literatur**

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah mengumpulkan bahan pustaka yang terkait dengan pengerjaan tugas akhir sebagai referensi dan acuan dalam pengerjaan. Agar nantinya dalam pengerjaan tugas akhir tidak terjadi kesamaan pengerjaan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

### 3. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data berupa informasi mengenai data kapal penumpang KM. Dorolonda yang akan digunakan sebagai obyek penelitian, meliputi gambar rencana umum, gambar sistem domestik, kondisi kapal serta jumlah kru.

### 4. Studi Empiris

Pada tahap ini terdapat 3 poin utama yaitu analisa awal, draft perencanaan, dan pemilihan spesifikasi *solar water heater* yang akan digunakan. Analisa awal ini digunakan untuk menganalisa teknologi apakah yang cocok untuk penyediaan *hot water* yang digunakan untuk kenyamanan *crew* dan penumpang di kapal penumpang KM. Dorolonda. Selanjutnya, draft perencanaan ini digunakan untuk merencanakan desain sistem *solar water heater* yang akan digunakan, tanpa mengabaikan aspek-aspek keselamatan. Spesifikasi *solar water heater*, harus ditentukan agar memudahkan untuk perhitungan sistem, analisa sistem dan perancangan sistem.

### 5. Perancangan Desain Sistem

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem yang sesuai untuk sistem *solar water heater* di kapal penumpang KM. Dorolonda. Sistem *solar water heater* yang akan dibuat untuk sistem domestik terkait P&ID dari sistem yang di rancang, direncanakan dengan mengacu pada aspek-aspek tertentu, misalnya teknis, *safety*, *reability* dan faktor kenyamanan.

### 6. Pembuatan Model Sistem untuk TRNSYS

Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem pada software TRNSYS yang akan digunakan untuk simulasi. Pemodelan sistem ini sesuai dengan desain sistem *solar water heater* yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, digunakan untuk mengetahui performansi dari sistem *solar water heater* yang telah dibuat.

## **7. Simulasi Sistem**

Pada tahap ini dilakukan simulasi terhadap sistem yang telah dibuat dengan menggunakan software TRNSYS. Software TRNSYS merupakan software simulasi yang berkonsentrasi pada pembangkit listrik tenaga surya yang dipilih untuk perhitungan kinerja. Dengan simulasi software TRNSYS ini kita dapat menilai kinerja sistem energi panas dan listrik yang telah dibuat. Software ini banyak digunakan untuk optimasi *renewable energy*.

## **8. Analisa Data**

Pada tahap ini dilakukan analisa data dari sistem *solar water heater* yang telah dibuat. Dihasilkan beberapa grafik yang dapat menunjukkan kinerja performansi dari sistem tersebut.

## **9. Kesimpulan dan Saran**

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Saran-saran diberikan berdasarkan hasil dari analisis yang dapat dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada penelitian ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Data Utama KM. Dorolonda

Type	= <i>Passenger Ship</i>	
Loa	= 146,5	m
Lpp	= 130	m
B	= 23,4	m
H	= 13,4	m
T	= 5,9	m
Vs	= 22	knot
DWT	= 3175	
Classification	= <i>Germanischer Lloyd (GL)</i>	
Crew, Owner	= 155	persons
Passenger	= <i>1<sup>st</sup> Class A Pass</i>	= 36 persons
	= <i>1<sup>st</sup> Class B Pass</i>	= 56 persons
	= <i>1<sup>st</sup> Class S Pass</i>	= 12 persons
	<u>= <i>Economy Class</i></u>	<u>= 2066 persons</u>
		2170 persons



Gambar IV-1. KM. Dorolonda  
Sumber: (Qomareza, 2016)

## IV.2 Rute Pelayaran KM. Dorolonda Pada Bulan Juli 2016

Tabel IV-1. Rute Pelayaran KM. Dorolonda  
Sumber: (Qomareza, 2016)

<b>Pelabuhan Berangkat</b>	<b>Pelabuhan Tiba</b>	<b>Jadwal Berangkat</b>	<b>Jadwal Tiba</b>
TANJUNG PRIOK	SURABAYA	06-07-2016   19:00	07-07-2016   18:00
SURABAYA	MAKASSAR	07-07-2016   23:00	09-07-2016   01:00
MAKASSAR	BAU – BAU	09-07-2016   03:00	09-07-2016   17:00
BAU – BAU	NAMLEA	09-07-2016   19:00	10-07-2016   15:00
NAMLEA	AMBON	10-07-2016   17:00	10-07-2016   22:00
AMBON	TERNATE	11-07-2016   01:00	11-07-2016   19:00
TERNATE	BITUNG	11-07-2016   21:00	12-07-2016   05:00
BITUNG	TERNATE	12-07-2016   07:00	12-07-2016   18:00
TERNATE	AMBON	12-07-2016   20:00	13-07-2016   14:00
AMBON	NAMLEA	13-07-2016   17:00	13-07-2016   22:00
NAMLEA	BAU – BAU	13-07-2016   23:59	14-07-2016   20:00
BAU – BAU	MAKASSAR	15-07-2016   04:00	15-07-2016   12:00
MAKASSAR	SURABAYA	16-07-2016   10:00	16-07-2016   17:00

### IV.3 Perhitungan Kebutuhan Air Hangat Untuk Mandi

Untuk menentukan kebutuhan air hangat dan air panas mempertimbangkan dari segi kebutuhan, jumlah ABK dan penumpang yang ada di kapal KM. Dorolonda serta fasilitas domestik yang menggunakan *hot water*. Sebagai pertimbangan kapasitas tiap kebutuhan, maka digunakan referensi dari buku *Hot and Cold Water Supply R.H Garret, Eng Tech* pada tahun 1988:

Outlet fitting	Design flow rate l/s	Minimum flow rate l/s	Loading units
WC flushing cistern single or dual flush	0.13	0.01	2
WC trough cistern	0.15 per WC	0.01	2
Wash basin tap size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.15 per tap	0.01	1½ to 3
Spray tap or spray mixer	0.05 per tap	0.03	—
Bidet	0.20 per tap	0.01	1
Bath tap, nominal size $\frac{3}{4}$ – DN 20	0.30	0.20	10
Bath tap, nominal size 1 – DN 25	0.60	0.40	22
Shower head (will vary with type of head)	0.20 hot or cold	0.10	3
Sink tap, nominal size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.20	0.10	3
Sink tap, nominal size $\frac{3}{4}$ – DN 20	0.30	0.20	5
Washing machine size $\frac{1}{2}$ DN 15	0.20 hot or cold	0.15	
dishwasher size $\frac{1}{2}$ – DN 15	0.15	0.10	3
Urinal flushing cistern	0.004 per position served	0.002	—

Gambar IV-2. Desain Kapasitas Peralatan

Sumber: (Garret, 1988)

- Minimum kapasitas aliran untuk *shower* = 0,1 liter/s = 6 liter/m, untuk desain kapasitas aliran *shower* diambil = 9,5 liter/m
- Rata-rata penggunaan *shower* 5 menit untuk sekali mandi, sehingga 9,5 liter/menit x 5 menit = 47,5 liter untuk sekali mandi.

- c) Dibuat skenario, untuk setiap 1 kloter mandi terdapat 20 orang yang mandi didalam waktu yang bersamaan. Maka dengan skenario tersebut, diperlukan air hangat untuk mandi sebanyak  $47,5 \text{ liter} \times 20 \text{ orang} = 950 \text{ liter/1 kloter mandi}$ .  
(Skenario dalam 1 hari setiap orang mandi sebanyak 2 kali yaitu pagi dan sore hari)
- d) Untuk 1 orang kebutuhan air hangat untuk mandi di asumsikan  $47,5 \text{ liter} \times 2 = 95 \text{ liter}$  dalam 1 hari untuk mandi pagi dan sore.

Diketahui:

*Crew, owner* = 155 orang

*Passenger* = 68 orang (fasilitas *hot water* hanya didapat pada penumpang kelas 1<sup>st</sup> *Class B Pass* dan 1<sup>st</sup> *Class S Pass*)

Sehingga, kebutuhan air hangat:

*Crew, owner* = 155 abk x 95 liter  
= 14725 liter/hari

*Passenger* = 68 orang x 95 liter  
= 6460 liter/hari

Total kebutuhan mandi air hangat untuk *crew* kapal dan *passenger* kapal KM. Dorolonda adalah 21185 liter/hari  
= 21,19 m<sup>3</sup>/hari.

#### IV.4 Perhitungan *Massa* Air Hangat Untuk Mandi

Temperatur kebutuhan air hangat untuk mandi: 38 °C

*Massa* jenis air temperatur 38 °C = 992,99 kg/m<sup>3</sup>

Sehingga *massa* air hangat yang diperlukan:

$$m = V \times \rho$$

$$m = 21,19 \text{ m}^3/\text{hari} \times 992,99 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 21036,49 \text{ kg/hari}$$

$$m = 22000 \text{ kg/hari}$$

#### IV.5 Perhitungan Kebutuhan Air Panas Untuk Mandi

Mengenai temperatur air panas yang diijinkan dapat dilihat di *Merchant Shipping Notice MSN 1884 (M) Maritime Labour Convention 2006 – Crew Accommodation* pada poin 18 *Sanitary Accommodation* yaitu:

18.7 *The hot water must be at a constant temperature of at least 66°C and must be heated by thermostatically controlled calorifiers of adequate capacity or by some equally safe and efficient means.*

18.8 *Every shower must be provided with an anti-scalding mixing valve which must be set in such a way that the temperature of the shower water can be varied by the person using it to any temperature between the ambient temperature and a temperature of at least:*

(i) *in the case of a thermostatically controlled mixing valve, 38°C but not more than 43°C; or*

(ii) *in the case of any other mixing valve, 35°C but not more than 40°C.*

Bahwa temperatur air panas yang diijinkan paling tidak 66°C, dan setiap *shower* harus terdapat *anti-scalding mixing valve* yang mengatur temperatur air hangat agar tidak lebih dari 43°C dan minimum 38°C yang diatur secara *thermostatic*.

Berat air hangat yang sudah dihitung sebelumnya merupakan pencampuran dari air panas dan air dingin, maka air dingin diperoleh dari tangki air tawar yang terletak di *deck 1* dengan temperatur 23°C, dan air panas yang diperoleh dari *solar collector* dengan *design temperature* 70°C. Sehingga, perencanaan air panas:

Perencanaan:	Temperatur air dingin	= 23°C
	Temperatur air panas	= 70°C
	Temperatur air hangat	= 38°C
	m total (air hangat)	= 22000 kg/hari

$$\begin{aligned}
 m_{\text{air panas}} &= \frac{T_{\text{air hangat}} - T_{\text{air dingin}}}{T_{\text{air panas}} - T_{\text{air dingin}}} \times m_{\text{total}} \\
 m_{\text{air panas}} &= \frac{38^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}{70^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}} \times 22000 \text{ kg/hari} \\
 m_{\text{air panas}} &= 7021,28 \text{ kg/hari} \\
 &= 7,18 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Maka diperlukan *massa* air panas sebanyak 7100 kg/hari dan air dingin ( $22000 - 7100 = 14900$  kg/hari).

Flowrate air panas:  $Q = \frac{V}{t}$

Dimana:

$Q$  = flowrate [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

$V$  = kebutuhan air panas [ $\text{m}^3$ ]

$t$  = waktu untuk menghasilkan panas [h]

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{7,18 \text{ m}^3}{6 \text{ h}} \\
 Q &= 1,2 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Mass flowrate air panas:  $\dot{m} = Q \times \rho$

$$\dot{m} = 1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 977,8 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} = 1170,1 \text{ kg/h}$$

#### IV.6 Perhitungan Kebutuhan Kalor yang Diperlukan

Untuk menghitung jumlah kalor yang diperlukan dengan perubahan temperatur dari  $23^{\circ}\text{C}$  ke  $70^{\circ}\text{C}$  maka digunakan rumus penukar kalor:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Sumber: (Holman, 1994)

Dimana:

$Q$  = jumlah kalor [J]

$m$  = massa air per hari [kg/hari]

$c$  = kalor jenis air = 4200 J/kg °C  
 $\Delta T$  = perubahan suhu [°C]

$$Q = 7021,28 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C} \times (70^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C})$$

$$Q = 1386000000 \text{ J/hari}$$

$$Q = 1386000 \text{ KJ/hari}$$

Maka jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dari 23°C ke 70°C sebesar 1386000 KJ/hari.

Selanjutnya, hitung berapa kW yang dibutuhkan:

$$1 \text{ KJ} = 0,000278 \text{ kW}$$

$$1386000 \text{ KJ} = 385,03 \text{ kW}$$

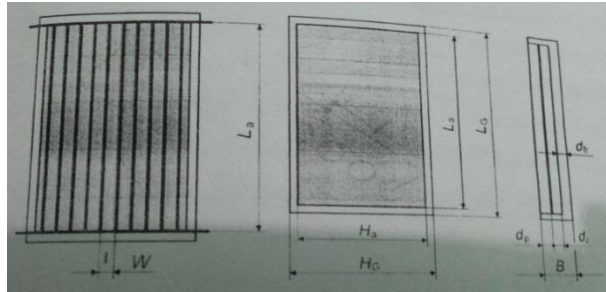
$$= 386 \text{ kW/hari}$$

Maka serapan panel dari *solar collector* yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dari 23°C ke 70°C sebesar 386 kW/hari.

#### IV.7 Perencanaan Jumlah *Solar Collector*

Untuk dimensi *solar collector* menggunakan modifikasi *solar collector* yang sudah ada pada perencanaan desain *solar collector* yang sebelumnya (Saputra, 2012), dengan spesifikasi *solar collector* sebagai berikut:

<i>Width x Length</i>	= 1 x 2 m
<i>Absorber material</i>	= <i>thermal compound</i>
<i>Absorber thickness</i>	= 50 cm
<i>Riser pipe diameter</i>	= out 25 mm/ in 23 mm
<i>Back &amp; edge insulation</i>	= 30 mm
<i>Heat transfer fluid</i>	= <i>water</i>
<i>Specific mass flowrate</i>	= 0,015 kg/s m <sup>2</sup>
<i>Slope</i>	= 30° / 45°
<i>Solar irradiation</i>	= 800 W/m <sup>2</sup>
<i>Wind velocity</i>	= 3 m/s, 6 m/s, 9 m/s



Gambar IV-3. Dimensi Utama *Solar Collector*

Sumber: (Saputra, 2012)

Potensi energi radiasi matahari terbesar didapatkan pada waktu pukul 09.00 WIB – 15.00 WIB (selama kurun waktu 6 jam) yang di *supply* secara terus menerus. (Saputra, 2012) Oleh karena itu setiap 1 m<sup>2</sup> *solar collector* selama 6 jam dapat menghasilkan 4,8 kWh.

$$\begin{aligned}\text{Luasan solar collector } 2 \text{ m}^2 &= 4,8 \text{ kWh} \times 2 \\ &= 9,6 \text{ kWh}\end{aligned}$$

Sehingga, jumlah *solar collector* yang diperlukan untuk menyerap panas sebesar 386 kW adalah sebanyak 41 *solar collector* dengan serapan solar sebesar 393,6 kWh.

Sebagai antisipasi saat cuaca mendung atau musim hujan, KM. Dorolonda memiliki sistem pemanas untuk memenuhi kebutuhan domestik dengan menggunakan *steam boiler*, *steam boiler* ini digunakan apabila tidak adanya panas matahari yang cukup. Kapasitas dari *steam boiler* adalah 465 kW dengan kapasitas aliran fluida pemanas 2 m<sup>3</sup>/jam.

#### IV.8 Perencanaan Dimensi Tangki Air Panas

Diketahui pada perhitungan sebelumnya, kebutuhan air panas adalah 7100 liter, sehingga dalam hal ini direncanakan terdapat 2 tangki *hydrophore hot water* yang masing-masing berkapasitas 3550 liter.



$$\rho \text{ air } 70^{\circ}\text{C} = 977,8 \text{ kg/m}^3$$

$$m \text{ air} = 3550 \text{ kg}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$\text{volume air} = 3,63 \text{ m}^3$$

Dengan parameter kapasitas tangki seperti diatas, sehingga dimensi tangki *hydrophore hot water* yang direncanakan:  
(1 feet = 0,3048 m)

Tabel IV-2. Dimensi Tangki *Hydrophore Hot Water*

	ft	meter
Diameter	5,4	1,646
Tinggi	5,7	1,737
<i>Liquid</i>	5,6	1,707
Volume tangki		3,69 m <sup>3</sup>
Volume <i>liquid</i>		3,63 m <sup>3</sup>

#### IV.9 Perhitungan Insulasi Tangki

Untuk menentukan *heat loss* yang terjadi di dalam tangki, dapat menggunakan perumusan dan metode yang ditulis oleh Jimmy D. Kumana dan Samir P. Kothari pada tahun 2009 dalam paper *Predict Storage-Tank Heat Transfer Precisely*. Didalam paper yang ia tulis, dikatakan bahwa *storage tank* memiliki beberapa bentuk dan ukuran, diantaranya *horizontal-cylindrical* dan *spherical* tank, serta *vertical-cylindrical with flat bottom and conical roof*. Pada hal ini, penulis menggunakan *storage tank* tipe *vertical-cylindrical with flat bottom and conical roof*.

Prinsip perhitungan *heat loss* pada tangki tekan vertikal dijelaskan pada gambar dibawah ini, dimana *heat loss* yang terjadi keluar melewati dinding atas (qr), dinding samping yang kering (qd), dinding samping yang basah (qw) dan pada alas tangki (qb) secara radiasi, konveksi maupun konduksi.

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan *heat loss* yang terjadi di dalam tangki adalah sebagai berikut:

1. Data masukan perhitungan:

Tabel IV-3. Data Masukan

<i>Asumsi Fouling Coefficient</i>	Nilai	Satuan
<i>Dry wall (hFd)</i>	704,912	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
<i>Wet wall (hFw)</i>	528,684	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
<i>Roof (hFr)</i>	704,912	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
<i>Bottom (hFb)</i>	528,684	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
Konduktivitas Termal	Nilai	Satuan
<i>Galvanized steel walls (kM)</i>	24,51	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
<i>Insulation glass wool (kI)</i>	0,0289	BTU/ ft <sup>2</sup> h °F
Ketebalan material (tM)	0,3	ft
Ketebalan insulasi (tI)	0,4	ft
Emisivitas Permukaan	Nilai	
<i>Wall and roof (ε)</i>	0,8	
Temperatur	Nilai	Satuan
Uap di tangki (TV)	150	°F
Air di tangki (TL)	158	°F
Udara luar (TA)	100	°F
Dimensi tangki	Nilai	Satuan
Diameter (D)	5,4	ft
Tinggi tangki (L)	5,7	ft
Tinggi air (Lw)	5,6	ft
<i>Physical properties</i>	Nilai (Air)	Satuan
Massa jenis	61,4	lb/ft <sup>3</sup>
Kalor jenis	1	BTU/ lb °F
Viskositas	2,73356	lb/ ft h
Konduktivitas termal	0,336	BTU/ ft h °F

<i>Coefficient of volume metric expansion</i>	0,00029	/°F
<i>Physical properties</i>	Nilai (Uap)	Satuan
Massa jenis	0,062	lb/ft <sup>3</sup>
Kalor jenis	0,238	BTU/ lb °F
Viskositas	0,120954	lb/ ft h
Konduktivitas termal	0,009	BTU/ ft h °F
<i>Coefficient of volume metric expansion</i>	0,002	/°F

2. Perhitungan luasan daerah pada masing-masing dinding untuk menentukan luas penampang. Semakin luas dinding, maka *heat loss* yang terjadi akan semakin besar dibandingkan dengan luasan dinding yang lebih kecil. Luasan dinding dihitung ketika fluida cair berada pada volume puncak, dikarenakan *heat loss* terbesar terjadi ketika fluida cair berada dalam kondisi puncak di dalam tangki. Perhitungan dengan menggunakan persamaan:

$$A_d = \pi D (L - L_w)$$

$$A_w = \pi D L_w$$

$$A_b = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_r = (\pi D/2)(D^2/4 + d^2)^{1/2}$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Tabel IV-4. Hasil Perhitungan Luasan Pada Dinding Tangki

Luasan Dinding	Nilai (ft <sup>2</sup> )
<i>Dry wall</i>	1,7
<i>Wet wall</i>	94,95
<i>Roof</i>	45,78
<i>Bottom</i>	25,5
Total	167,94

3. Perhitungan koefisien termal pada masing-masing dinding. Koefisien yang dihitung adalah:

- Koefisien *heat transfer* secara konveksi di dalam tangki pada masing-masing dinding
- Koefisien *heat transfer* secara konduksi pada masing-masing dinding
- Koefisien *heat transfer* secara konveksi di luar tangki pada masing-masing dinding
- Koefisien *heat transfer* akibat terjadinya *fouling*
- Koefisien *heat transfer* secara radiasi

• **Coefficient vapor dinding dalam (hVw)**

$$\begin{aligned} \text{➤ } T_w &= \frac{(T_V + T_A)}{2} = \frac{(150 + 100)}{2} = 125 \text{ } ^\circ\text{F} \\ \text{➤ } NGR &= 1,9 \times 10^7 (L - L_w)^3 (T_V - T_w) \\ NGR &= 1,9 \times 10^7 (5,7 - 5,6)^3 (150 - 125) \\ NGR &= 475000 \\ \text{➤ } NPR &= 0,28 \\ \text{➤ } Nnu &= 0,138 \times NGR^{0,36} \times (NPR^{0,175} - 0,55), \\ &\text{ketika } 0,1 < NPR < 40, NGR > 10^9 \\ Nnu &= 0,138 \times 475000^{0,36} \times (0,28^{0,175} - 0,55) \\ Nnu &= 3,819 \\ \text{➤ } h_{Vw} &= (Nnu \times k) / (L - L_w) \\ h_{Vw} &= \frac{(3,819 \times 0,009)}{(5,7 - 5,6)} = 0,344 \end{aligned}$$

• **Coefficient liquid dinding dalam (hLw)**

$$\begin{aligned} \text{➤ } NGR &= L^3 \times \rho^2 \times g \times \beta \times \frac{\Delta T}{\mu} \\ \Delta T &= T_L - \frac{(T_L + T_A)}{2} = 158 - \frac{(158 + 100)}{2} = 29 \text{ } ^\circ\text{F} \\ NGR &= 5,7^3 \times 61,4^2 \times 9,8 \times 0,00029 \times \frac{29}{2,7335} \\ NGR &= 21050,129 \\ \text{➤ } NPR &= cp \times \frac{\mu}{k} \\ NPR &= 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355 \end{aligned}$$

$$NGR \times NPR = 171255,3$$

$$\triangleright h_{LW} = \left( \frac{0,495k}{L_W} \right) (NGR \times NPR)^{0,25}, \text{ atau}$$

$$\triangleright h_{LW} = \left( \frac{0,45k}{L_W^{0,75}} \right) (NGR \times NPR)^{0,25}$$

(dipilih yang terbesar)

$$h_{LW} = \left( \frac{0,495 \times 0,336}{5,6} \right) (171255,3)^{0,25} = 0,6042$$

$$h_{LW} = \left( \frac{0,45 \times 0,336}{5,6^{0,75}} \right) (171255,3)^{0,25} = 0,8449$$

• **Coefficient vapor pada atap (hVr)**

$$\triangleright NGR = 1,9 \times 10^7 D^3 (T_V - T_w)$$

$$T_w = \frac{(T_V + T_A)}{2} = \frac{(150 + 100)}{2} = 125 \text{ } ^\circ F$$

$$NGR = 1,9 \times 10^7 5,4^3 (150 - 125)$$

$$NGR = 74795400000$$

$$\triangleright NPR = 0,28$$

$$\triangleright h_{Vr} = (0,27 \times k/D) (NGR \times NPR)^{0,25}$$

$$h_{Vr} = (0,27 \times 0,009/5,4) (74795400000 \times 0,28)^{0,25}$$

$$h_{Vr} = 0,1712$$

• **Coefficient liquid pada alas (hLb)**

$$\triangleright T_w = \frac{(T_L + T_A + 5)}{2}, \text{ assumed } T_G \text{ is above } 5^\circ F \text{ ambient}$$

$$T_w = \frac{(T_L + T_A + 5)}{2} = \frac{(158 + 100 + 5)}{2} = 131,5 \text{ } ^\circ F$$

$$\triangleright NGR = 97,47 D^3 (T_L - T_w)$$

$$NGR = 97,47 \times 5,4^3 (158 - 131,5) = 406722,426$$

$$\triangleright NPR = cp \times \frac{\mu}{k}$$

$$NPR = 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355$$

$$\triangleright Nnu = 0,14 (NGR \times NPR)^{0,33}$$

$$Nnu = 0,14 (406722,426 \times 8,1355)^{0,33} = 19,844$$

$$\triangleright h_{Lb} = (Nnu \times k)/(L - L_w)$$

$$h_{Lb} = (19,844 \times 0,336)/(5,7 - 5,6) = 66,6752$$

- **Coefficient outside air pada atap (hAr)**

- $NGR = 1,9 \times 10^7 D^3 (T_{ws} - T_A)$   
 $asumsi, T_{ws} = T_w = 131,5 F$   
 $NGR = 1,9 \times 10^7 5,4^3 (131,5 - 100)$   
 $NGR = 94242204000$
- $NPR = 0,28$
- $Nnu = 0,14(NGR NPR)^{0,33}$   
 $Nnu = 0,14(94242204000 \times 0,28)^{0,33} = 384,761$
- $h_{Ar} = (Nnu \times k)/(L - L_w)$   
 $h_{Ar} = (384,761 \times 0,009)/(5,7 - 5,6) = 34,628$

- **Coefficient outside air pada dinding luar (hAw)**

- $NGR = 1,9 \times 10^7 L^3 \Delta T$   
 $\Delta T = \frac{(T_L - T_w)}{4} = \frac{(158 - 131,5)}{4} = 6,625$   
 $NGR = 1,9 \times 10^7 \times 5,7^3 \times 6,625$   
 $NGR = 23311168875$
- $NPR = cp \times \frac{\mu}{k} = 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355$
- $Nnu = 0,138NGR^{0,36}(NPR^{0,175} - 0,55)$   
 $Nnu = 0,138 \times 23311168875^{0,36}(8,1355^{0,175} - 0,55)$   
 $Nnu = 665,483$
- $h_{Aw} = (Nnu \times k)/(L - L_w)$   
 $h_{Aw} = (665,483 \times 0,336)/(5,7 - 5,6) = 2236,025$

- **Conduction coefficient**

- $h_M = k_M/t_M$   
 $h_M = \frac{24,51}{0,3} = 81,7$
- $h_I = k_I/t_I$   
 $h_I = \frac{0,0289}{0,4} = 0,072$

$$\triangleright h_G = 8k_G/\pi D$$

$$h_G = 8 \times \frac{24,51}{3,14 \times 5,4} = 11,564$$

• **Radiation coefficient**

➤ Untuk *dry wall*

$$h_{Rd} = \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws} - T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws} + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$\varepsilon_{\text{glasswool}} = 0,8$$

$$T_{ws} = T_A + 0,5(T_V + T_A)$$

$$T_{ws} = 100 + 0,5(150 + 100) = 225 \text{ F}$$

$$h_{Rd} = \frac{0,1713 \times 0,8}{225 - 100} \left[ \left( \frac{225 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$h_{Rd} = 1,3356$$

➤ Untuk *wet wall*

$$h_{RW} = \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws} - T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws} + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$T_{ws} = T_A + 0,25(T_L + T_A)$$

$$T_{ws} = 100 + 0,25(158 + 100) = 164,5$$

$$h_{RW} = \frac{0,1713 \times 0,8}{164,5 - 100} \left[ \left( \frac{164,5 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$h_{RW} = 1,1421$$

Sedangkan untuk koefisien *heat transfer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_d} &= \frac{1}{h_{VW}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rd})} + \frac{1}{h_{Fd}} \\ \frac{1}{U_w} &= \frac{1}{h_{LW}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{RW})} + \frac{1}{h_{FW}} \\ \frac{1}{U_b} &= \frac{1}{h_{Lb}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{h_G} + \frac{1}{h_{FW}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{U_r} = \frac{1}{h_{Vr}} + \frac{t_M}{k_M} + \frac{t_I}{k_I} + \frac{1}{(h_{Aw} + h_{Rd})} + \frac{1}{h_{Fd}}$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Tabel IV-5. Total Koefisien *Heat Losses*

<i>Coefficient</i>	<i>dry wall</i>	<i>wet wall</i>	<i>roof</i>	<i>bottom</i>
hVw	0,344			
hLw		0,845		
hVr			0,171	
hLb				66,675
hAr			34,628	
hAw	2236,025	2236,025		
hM	81,7	81,7	81,7	81,7
hI	0,072	0,072		
hF	704,912	528,684	704,912	528,684
hR	1,335	1,142	1,335	1,142
1/U	16,764	15,039	19,696	13,956
U	0,059	0,066	0,05	0,072

4. Koreksi temperatur pada dinding tangki di dalam dan di luar masing-masing dinding. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$T_{ws} = \left( \frac{U}{h_r} + h_{Aw} \right) \times (T_{fluida} - T_{ambient}) + T_{ambient}$$

$$T_w = T_{fluida} - \left( \frac{U}{h} \right) (T_{fluida} - T_{ambient})$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

- *Tws dry wall*

$$T_{ws} = \left( \frac{0,059}{1,335} + 2236,025 \right) \times (150 - 100) + 100$$

$$T_{ws} = 100,001 F$$



- *Tw dry wall*

$$T_w = 150 - \left( \frac{0,059}{0,344} \right) (150 - 100)$$

$$T_w = 141,323 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Tabel IV-6. Koreksi Temperatur Pada Dinding Tangki

T dinding	°F
<i>Tws dry wall</i>	100,001
<i>Tw dry wall</i>	141,323
<i>Tws wet wall</i>	100,002
<i>Tw wet wall</i>	153,435
<i>Tws roof</i>	100,001
<i>Tw roof</i>	135,171
<i>Tws bottom</i>	100,002
<i>Tw bottom</i>	157,938

5. Perhitungan koefisien termal pada masing-masing dinding dengan menggunakan koreksi temperatur dinding:

- ***Coefficient vapor dinding dalam (hVw)***

➤  $T_w = 141,323 \text{ } ^\circ\text{F}$

➤  $NGR = 1,9 \times 10^7 (L - L_w)^3 (T_v - T_w)$   
 $NGR = 1,9 \times 10^7 (5,7 - 5,6)^3 (150 - 141,323)$   
 $NGR = 164871,187$

➤  $NPR = 0,28$

➤  $Nnu = 0,138 \times NGR^{0,36} \times (NPR^{0,175} - 0,55)$ ,  
ketika  $0,1 < NPR < 40, NGR > 10^9$   
 $Nnu = 0,138 \times 164871,187^{0,36} \times (0,28^{0,175} - 0,55)$   
 $Nnu = 2,609$

➤  $h_{Vw} = (Nnu \times k) / (L - L_w)$

$h_{Vw} = (2,609 \times 0,009) / (5,7 - 5,6) = 0,235$

- **Coefficient liquid dinding dalam (hLw)**

➤  $T_w = 153,435 \text{ } ^\circ\text{F}$

➤  $NGR = L^3 \times \rho^2 \times g \times \beta \times \frac{\Delta T}{\mu}$

$$\Delta T = T_L - T_w = 158 - 153,435 = 4,564 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$NGR = 5,7^3 \times 61,4^2 \times 9,8 \times 0,00029 \times \frac{4,564}{2,7335}$$

$$NGR = 3313,186$$

➤  $NPR = cp \times \frac{\mu}{k}$

$$NPR = 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355$$

$$NGR \times NPR = 26954,74$$

➤  $h_{Lw} = \left( \frac{0,495k}{L_w} \right) (NGR \text{ } NPR)^{0,25}, \text{ atau}$

➤  $h_{Lw} = \left( \frac{0,45k}{L_w^{0,75}} \right) (NGR \text{ } NPR)^{0,25}$

(dipilih yang terbesar)

$$h_{Lw} = \left( \frac{0,495 \times 0,336}{5,6} \right) (26954,74)^{0,25} = 0,381$$

$$h_{Lw} = \left( \frac{0,45 \times 0,336}{5,6^{0,75}} \right) (26954,74)^{0,25} = 0,532$$

- **Coefficient vapor pada atap (hVr)**

➤  $T_w = 135,171 \text{ } ^\circ\text{F}$

➤  $NGR = 1,9 \times 10^7 D^3 (T_v - T_w)$

$$NGR = 1,9 \times 10^7 5,4^3 (150 - 135,171)$$

$$NGR = 44365465991$$

➤  $NPR = 0,28$

➤  $h_{Vr} = (0,27 \times k/D) (NGR \text{ } NPR)^{0,25}$

$$h_{Vr} = (0,27 \times 0,009/5,4) (44365465991 \times 0,28)^{0,25}$$

$$h_{Vr} = 0,15$$

- **Coefficient liquid pada alas (hLb)**

➤  $T_w = 157,938 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$\begin{aligned}
 &\triangleright NGR = 97,47D^3(T_L - T_W) \\
 &\quad NGR = 97,47 \times 5,4^3(158 - 157,938) = 956,625 \\
 &\triangleright NPR = cp \times \frac{\mu}{k} = 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355 \\
 &\triangleright Nnu = 0,14(NGR NPR)^{0,33} \\
 &\quad Nnu = 0,14(956,625 \times 8,1355)^{0,33} = 2,693 \\
 &\triangleright h_{Lb} = (Nnu \times k)/(L - L_W) \\
 &\quad h_{Lb} = (2,693 \times 0,336)/(5,7 - 5,6) = 9,048
 \end{aligned}$$

• **Coefficient outside air pada atap (hAr)**

$$\begin{aligned}
 &\triangleright T_{ws} = 100,001 F \\
 &\triangleright NGR = 1,9 \times 10^7 D^3(T_{ws} - T_A) \\
 &\quad NGR = 1,9 \times 10^7 5,4^3(100,001 - 100) \\
 &\quad NGR = 3394531,727 \\
 &\triangleright NPR = 0,28 \\
 &\triangleright Nnu = 0,14(NGR NPR)^{0,33} \\
 &\quad Nnu = 0,14(3394531,727 \times 0,28)^{0,33} = 13,148 \\
 &\triangleright h_{Ar} = (Nnu \times k)/(L - L_W) \\
 &\quad h_{Ar} = (13,148 \times 0,009)/(5,7 - 5,6) = 1,183
 \end{aligned}$$

• **Coefficient outside air pada dinding luar (hAw)**

$$\begin{aligned}
 &\triangleright NGR = 1,9 \times 10^7 L^3 \Delta T \\
 &\quad \Delta T = \frac{(T_L - T_w)}{4} = \frac{(158 - 153,435)}{4} = 1,141 \\
 &\quad NGR = 1,9 \times 10^7 \times 5,7^3 \times 1,141 \\
 &\quad NGR = 4015200756 \\
 &\triangleright NPR = cp \times \frac{\mu}{k} = 1 \times \frac{2,7335}{0,336} = 8,1355 \\
 &\triangleright Nnu = 0,138NGR^{0,36}(NPR^{0,175} - 0,55) \\
 &\quad Nnu = 0,138 \times 4015200756^{0,36}(8,1355^{0,175} - 0,55) \\
 &\quad Nnu = 353,304 \\
 &\triangleright h_{Aw} = (Nnu \times k)/(L - L_W) \\
 &\quad h_{Aw} = (353,304 \times 0,009)/(5,7 - 5,6) = 31,797
 \end{aligned}$$

- **Conduction coefficient**

➤  $h_M = k_M/t_M$

$$h_M = \frac{24,51}{0,3} = 81,7$$

➤  $h_I = k_I/t_I$

$$h_I = \frac{0,0289}{0,4} = 0,072$$

➤  $h_G = 8k_G/\pi D$

$$h_G = 8 \times \frac{24,51}{3,14 \times 5,4} = 11,564$$

- **Radiation coefficient**

➤  $h_{Rd} = \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws}-T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws}+460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A+460}{100} \right)^4 \right]$

$$T_{ws} = 100,001 \text{ } F$$

$$h_{Rd} = \frac{0,1713 \times 0,8}{100,001 - 100} \left[ \left( \frac{100,001 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$h_{Rd} = 0,96266$$

➤  $h_{Rw} = \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws}-T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws}+460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A+460}{100} \right)^4 \right]$

$$T_{ws} = 100,002 \text{ } F$$

$$h_{Rw} = \frac{0,1713 \times 0,8}{100,002 - 100} \left[ \left( \frac{100,002 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$h_{Rw} = 0,96266$$

➤  $h_{Rr} = \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws}-T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws}+460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A+460}{100} \right)^4 \right]$

$$T_{ws} = 100,001 \text{ } F$$

$$h_{Rr} = \frac{0,1713 \times 0,8}{100,001 - 100} \left[ \left( \frac{100,001 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right]$$

$$h_{Rr} = 0,96266$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow h_{Rb} &= \frac{0,1713\varepsilon}{T_{ws}-T_A} \left[ \left( \frac{T_{ws}+460}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_A+460}{100} \right)^4 \right] \\ T_{ws} &= 100,002 \text{ } F \\ h_{Rb} &= \frac{0,1713 \times 0,8}{100,002 - 100} \left[ \left( \frac{100,002 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{100 + 460}{100} \right)^4 \right] \\ h_{Rb} &= 0,96266 \end{aligned}$$

Tabel IV-7. Total Koefisien *Heat Losses* Hasil Koreksi

<i>Coefficient</i>	<i>dry wall</i>	<i>wet wall</i>	<i>roof</i>	<i>bottom</i>
hVw	0,235			
hLw		0,532		
hVr			0,15	
hLb				9,048
hAr			1,183	
hAw	31,797	31,797		
hM	81,7	81,7	81,7	81,7
hI	0,072	0,072	0,072	0,072
hF	704,912	528,684	704,912	528,684
hR	0,963	0,963	0,963	0,963
1/U	18,143	15,764	21,45	14,052
U	0,055	0,063	0,047	0,071

6. Perhitungan *heat losses* yang terjadi. Seberapa besar kalor yang hilang per jam nya sehingga dapat diketahui seberapa lama tangki air panas dapat menyimpan air panas sebelum di suplai untuk sistem domestik.

$$q_d = U_d A_d (T_V - T_A)$$

$$q_w = U_w A_w (T_L - T_A)$$

$$q_b = U_b A_b (T_L - T_G)$$

$$q_r = U_r A_r (T_V - T_A)$$

$$Q = q_d + q_w + q_b + q_r$$

Sumber: (Kumana, Kothari, Henningson, Durham, & Richardson, 2009)

Tabel IV-8. *Heat Losses* yang Terjadi Pada Tangki

<i>Surface</i>	U (BTU/ ft2 h °F)	A (ft2)	$\Delta T$ (°F)	q (BTU/ h)
<i>dry wall</i>	0,0551	1,7	50	14,6728
<i>wet wall</i>	0,0634	94,95	58	349,3487
<i>roof</i>	0,0466	45,78	50	106,7146
<i>bottom</i>	0,0712	25,5	58	105,2714
<b>Total</b>		<b>167,94</b>		<b>566,0075</b>

## 7. Kesimpulan akhir

➤ *Heat Loss* dalam waktu 24 jam :

$$Q/24jam = Q_{total} \times 24$$

$$\frac{Q}{24jam} = 566,007 \times 24 = 13584,18 \text{ BTU/hari}$$

$$Q/24jam = 13584,18 \times 1,055 = 14332,069 \text{ kJ/hari}$$

➤ Temperatur setelah 24 jam:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$m = 3550 \text{ kg/hari}$$

$$c = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m \times c} = \frac{14332,069}{3550 \times 4,2} = 0,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatur awal} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \text{Temperatur awal} - \text{Temperatur akhir}$$

$$0,96 = 70 - \text{Temperatur akhir}$$

$$\text{Temperatur akhir} = 70 - 0,96 = 69,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur akhir di dalam tangki *hydrophore hot water* adalah 69,04 °C. Oleh karena itu, pada temperatur ini masih di ijinakan untuk digunakan pada sistem domestik, sesuai dengan aturan yang ada di *Merchant Shipping Notice MSN 1884 (M) MLC 2006 – Crew Accommodation* pada poin 18 *Sanitary Accommodation*, bahwa temperatur minimal air panas adalah 66 °C.

#### IV.10 Perhitungan Insulasi Pipa

Untuk menghitung *heat loss* yang terjadi di dalam pipa, yang harus dilakukan adalah mencari koefisien perpindahan panas terlebih dahulu. Koefisien tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang ditulis Z. K. Morvay, D. D. Gvozdenac, pada tahun 2008, pada paper *Applied Industrial Energy and Environmental Management*.

Diketahui :

- Diameter luar insulasi ( $D_3$ ) = 80 mm = 0,08 m
- Diameter luar pipa ( $D_2$ ) = 63,5 mm = 0,0635 m
- Material pipa = *Galvanized*
- Material insulasi = *Glasswool*
- Konduktivitas termal insulasi ( $k_{insulation}$ ) = 0,05 W/m °C
- Koefisien perpindahan panas insulasi ( $h_{out}$ ) = 6,5 W/m<sup>2</sup> °C
- Temperatur fluida di dalam pipa ( $T_{in}$ ) = 70 °C
- Temperatur *ambient* ( $T_{out}$ ) = 28 °C

Rumus untuk mencari koefisien perpindahan panas:

$$U = \frac{1}{\frac{D_3 \cdot \ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2 \cdot k_{INSULATION}} + \frac{1}{h_{OUT}}}$$

Sumber: (Morvay & Gvozdenac, 2008)

$$U = \frac{1}{\frac{0,08 \ln\left(\frac{0,08}{0,0635}\right)}{2 \times 0,05} + \frac{1}{6,5}}$$

$$U = \frac{1}{0,185 + 0,154}$$

$$= \frac{1}{0,339} = 2,953 \text{ W/m}^2 \text{ C}$$

Rumus untuk mencari *heat loss* per meter:

$$\frac{Q}{L} = \pi D_3 \times U (T_{in} - T_{out})$$

Sumber: (Morvay & Gvozdenac, 2008)

$$\frac{Q}{L} = \pi 0,08 \times 2,953 (70 - 28)$$

$$\frac{Q}{L} = 31,156 \text{ W/m} = 112160,2 \text{ J/m jam}$$

➤ *Heat Loss* dalam waktu 24 jam:

$$\frac{Q}{L} 24 \text{ jam} = \frac{Q}{L} \times 24$$

$$\frac{Q}{L} 24 \text{ jam} = 112160,2 \times 24 = 2691846 \text{ J/m hari}$$

➤ Temperatur setelah 24 jam:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

$$m = 3550 \text{ kg/hari}$$

$$c = 4200 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{Q}{m \times c} = \frac{2691846}{3550 \times 4200} = 0,18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

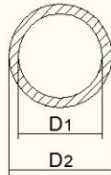
$$\text{Temperatur awal} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \text{Temperatur awal} - \text{Temperatur akhir}$$

$$0,18 = 70 - \text{Temperatur akhir}$$

$$\text{Temperatur akhir} = 70 - 0,18 = 69,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

#### HOT F.W. PIPE



D<sub>1</sub>: OUTSIDE DIAMETER OF PIPE

D<sub>2</sub>: OUTSIDE DIAMETER OF INSULATION

INSULATION OF PIPE :

- THICKNESS : 8.25 mm

- MATERIAL : GLASSWOOL

Gambar IV-4. Potongan Melintang Pipa Air Panas



#### IV.11 Desain *Keyplan* Sistem SWH

##### 1. Perhitungan *Head Loss* untuk pipa air panas

Diketahui :

- Material pipa : *Galvanized*
- $k_{galvanized}$  :  $1,5 \times 10^{-4}$
- $\mu$  : 0,0000008449
- D1 : 63,5 mm = 0,0635 m
- D2 : 45 mm = 0,045 m
- Q :  $3 \text{ m}^3/\text{h}$
- V1 =  $Q / A$   
 $= 3 / (0,25 \times \pi \times 0,0635^2)$   
 $= 947,77 \text{ m}^3/\text{h} = 0,263 \text{ m/s}$
- V2 =  $Q / A$   
 $= 3 / (0,25 \times \pi \times 0,045^2)$   
 $= 1887,24 \text{ m}^3/\text{h} = 0,524 \text{ m/s}$

$$H_{losses} = H_{losses \text{ mayor}} + H_{losses \text{ minor}}$$

##### - $H_{losses \text{ mayor}}$

a.  $H_{losses \text{ mayor D1}} = 0,0635 \text{ m}, L = 11,5 \text{ m}$

- $Re = V \times D / \mu$   
 $= 0,263 \times 0,0635 / 0,0000008449$   
 $= 19786,55$  (aliran turbulen)
- $k/D = (1,5 \times 10^{-4}) / 0,0635$   
 $= 0,002$
- $f = 0,035$  (didapat dari *moody diagram*)
- $hf1 = f \times (L/d) \times (v^2/2g)$   
 $= 0,035 \times (11,5/0,0635) \times (0,263^2/2 \times 9,81)$   
 $= 0,022 \text{ m}$

b.  $H_{losses \text{ mayor D2}} = 0,045 \text{ m}, L = 63 \text{ m}$

- $Re = V \times D / \mu$   
 $= 0,524 \times 0,045 / 0,0000008449$   
 $= 27921,02$  (aliran turbulen)
- $k/D = (1,5 \times 10^{-4}) / 0,045$   
 $= 0,003$
- $f = 0,033$  (didapat dari *moody diagram*)

$$\begin{aligned}
 - hf_2 &= f \times (L/d) \times (v^2/2g) \\
 &= 0,033 \times (63/0,045) \times (0,524^2/2 \times 9,81) \\
 &= 0,647 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ losses mayor} &= hf_1 + hf_2 \\
 &= 0,022 + 0,647 \\
 &= 0,67 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- *H losses minor*

No.	<i>Accesoris</i>	n	k	n x k
1	<i>Butterfly valve</i>	4	0,6	2,4
2	<i>Ball valve</i>	1	0,05	0,05
3	<i>Elbow 90</i>	2	1,3	2,6
4	<i>T connection</i>	4	1	4
$\Sigma$				9,1

$$\begin{aligned}
 H \text{ Losses minor} &= (\Sigma n \times k)(v^2 - v_1^2)/2g \\
 &= 9,1 \times (0,524^2 - 0,263^2)/2 \times 9,81 \\
 &= 0,031 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ losses} &= H \text{ losses mayor} + H \text{ losses minor} \\
 &= 0,67 + 0,031 \\
 &= 0,701 \text{ m}
 \end{aligned}$$

*Working pressure* tangki *hydrophore hot water* sebesar 1,4 bar = 0,14 Mpa, sehingga masih mampu untuk mencukupi kebutuhan *head losses*.

## 2. Perencanaan desain *keyplan*

Pada perencanaan desain *keyplan* disesuaikan dengan desain *keyplan* sistem domestik yang sudah ada dikapal KM. Dorolonda, yang membedakan hanya jalur suplai air panas nya saja. Untuk jalur suplai air panas pada sistem sebelumnya, menggunakan *steam boiler* sebagai pemanas yang di suplai ke sistem domestik yang membutuhkan air panas.

Sedangkan pada desain *keyplan* yang penulis modifikasi adalah air panas didapat dari *solar collector* yang memanfaatkan energi panas dari matahari, sehingga lebih ramah lingkungan dan ekonomis. Karena panas dari matahari tidak dapat di suplai terus-menerus selama 24 jam, maka di desain pula tangki *hydrophore hot water* yang di insulasi sebelum di suplai ke konsumen (dalam hal ini kebutuhan *shower* kamar mandi *crew* dan penumpang kapal).

#### Pola distribusi air tawar:

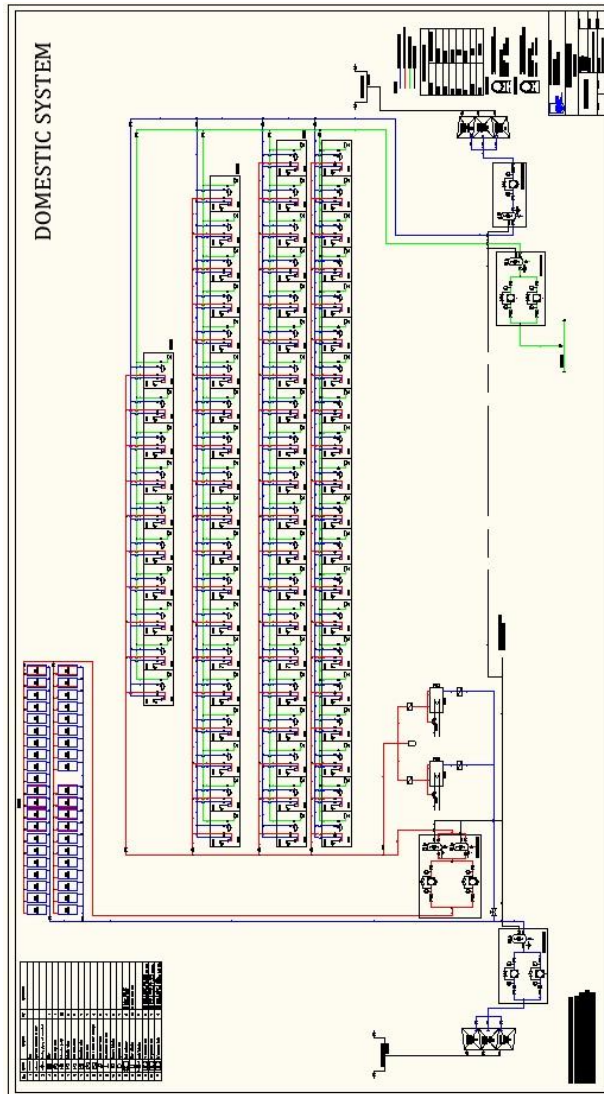
- ✚ Air tawar dari *fresh water tank* kapal di suplai ke *fresh water hydrophore* dengan menggunakan *fresh water pump* yang *terinclude* pada *fresh water hydrophore*.
- ✚ *Fresh water hydrophore* mensuplai kebutuhan air tawar ke sistem domestik dan ke *solar collector* untuk dipanaskan.

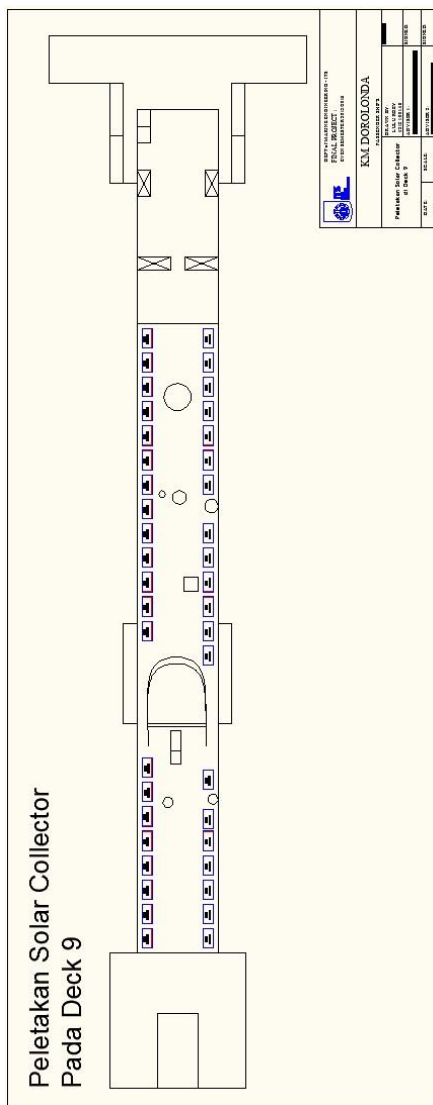
#### Pola distribusi air panas:

- ✚ Air panas yang dihasilkan *solar collector* yang telah mencapai temperatur 70 °C di suplai ke tangki *hydrophore hot water* untuk di simpan sebelum di suplai ke sistem domestik.
- ✚ Jika diperlukan untuk mandi air hangat, maka air panas dari tangki *hydrophore hot water* di pompa untuk di suplai ke sistem domestik.

#### Pola distribusi air laut:

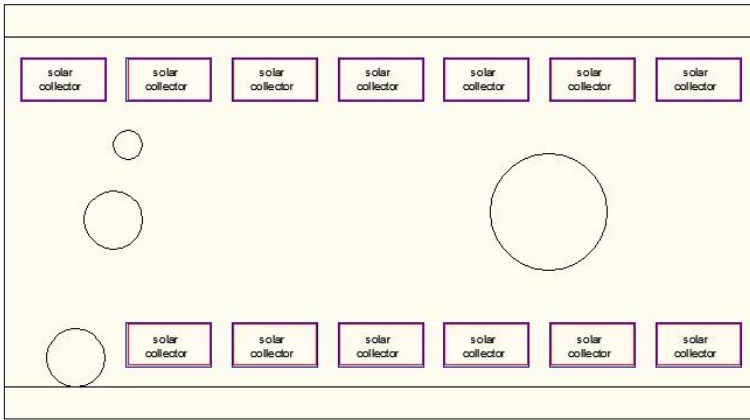
- ✚ Air laut dari *sea chest* di suplai ke *sea water hydrophore* dengan menggunakan *sea water pump* yang *terinclude* pada *sea water hydrophore*.
- ✚ *Sea water hydrophore* mensuplai kebutuhan air laut ke sistem domestik.





Gambar IV-6. Peletakan *Solar Collector* di Deck 9

Untuk lebih lengkapnya, dapat dilihat pada bagian lampiran.



Gambar IV-7. Detail Gambar Peletakan *Solar Collector* di *Deck 9*

#### IV.12 Penggunaan Software TRNSYS 16

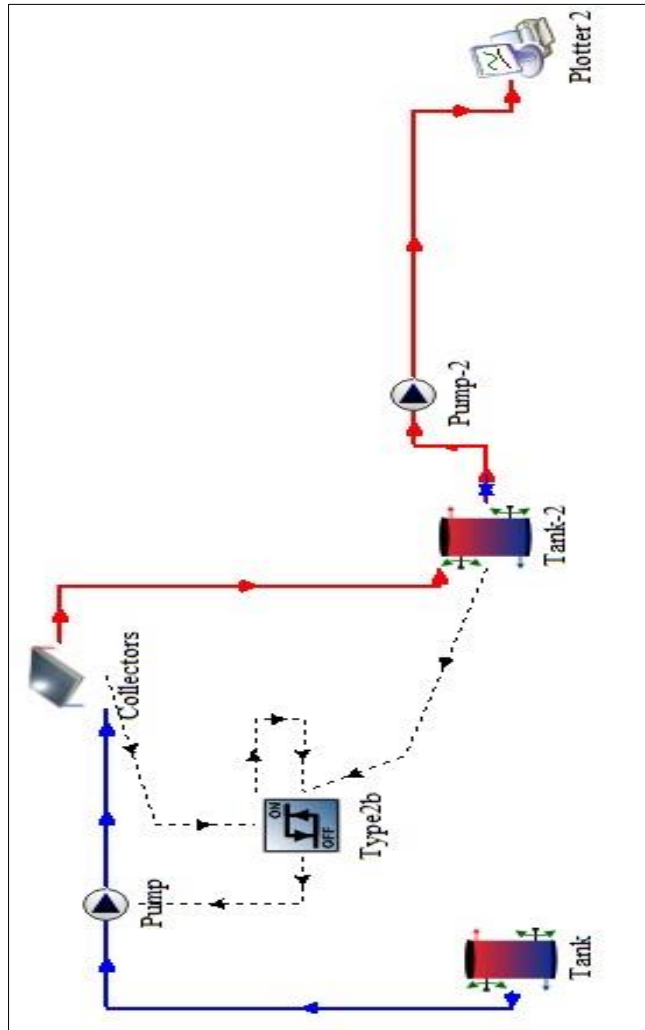
Setelah dilakukan perhitungan manual untuk menentukan dan merencanakan sistem domestik dengan memanfaatkan energi panas matahari melalui *solar collector*, kemudian penulis melakukan simulasi dengan software khusus *renewable energy* yaitu TRNSYS 16.

Software TRNSYS (*Transient Simulation of Systems*) merupakan software simulasi yang berkonsentrasi pada pembangkit listrik tenaga surya yang dipilih untuk perhitungan kinerja tahunan. Simulasi TRNSYS memfokuskan pada penilaian kinerja sistem energi panas dan listrik. TRNSYS mulai dikembangkan oleh *University of Wisconsin Madison* (Amerika Serikat). Di dalam software ini terdapat berbagai keunggulan dalam menghitung kebutuhan energi pada suatu bangunan seperti: sistem *solar cell* dan *thermal*, HVAC, *renewable energy*, *fuel cell*, dll.

**Diagram alur simulasi software TRNSYS 16:**

1. Pembuatan model sistem

Pada tahap ini, dibuat pemodelan sistem desain *keyplan* domestik yang telah dibuat, pada software TRNSYS 16.



Gambar IV-8. Pemodelan Awal Sistem Pada TRNSYS 16

2. *Input* data ke dalam pemodelan sistem

Pada tahap ini, di *input* data-data ke dalam masing-masing komponen yang ada di dalam sistem sesuai dengan spesifikasi dan dengan perhitungan manual sebelumnya. Misalnya pada *FW tank* yaitu:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Variable inlet positions	2	-	More...		
2	Tank volume	445.86	m³	More...		
3	Fluid specific heat	4.2	kJ/kg.K	More...		
4	Fluid density	997.45	kg/m³	More...		
5	Tank loss coefficient	2.5	kJ/hr.m².K	More...		
6	Height of node-1	0.3	m	More...		
7	Height of node-2	0.3	m	More...		
8	Height of node-3	0.3	m	More...		
9	Height of node-4	0.3	m	More...		

1	How many temperature levels (nodes) should be used in the tank?	6
2	How many heating elements to be modeled in this tank?	2

Gambar IV-9. Parameter di *FW Tank* Pada TRNSYS 16

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Hot-side temperature	0	C	More...		
2	Hot-side flowrate	0	kg/hr	More...		
3	Cold-side temperature	23	C	More...		
4	Cold-side flowrate	18530	kg/hr	More...		
5	Environment temperature	28	C	More...		
6	Control signal for element-1	1	-	More...		
7	Control signal for element-2	0.0	-	More...		

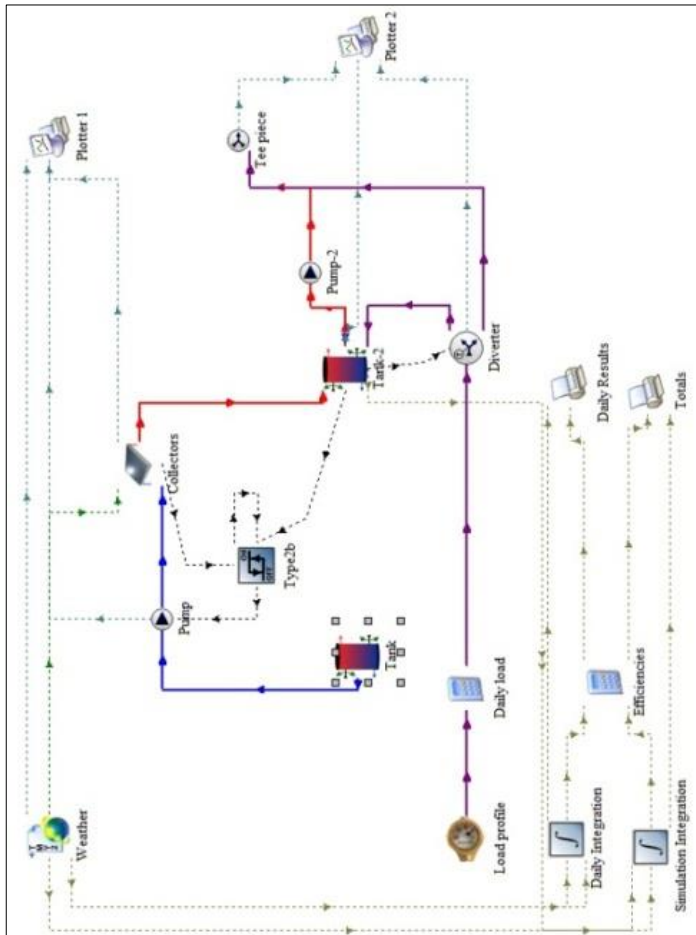
1	How many heating elements to be modeled in this tank?	2
---	-------------------------------------------------------	---

Gambar IV-10. Data *Input* di *FW Tank* Pada TRNSYS 16

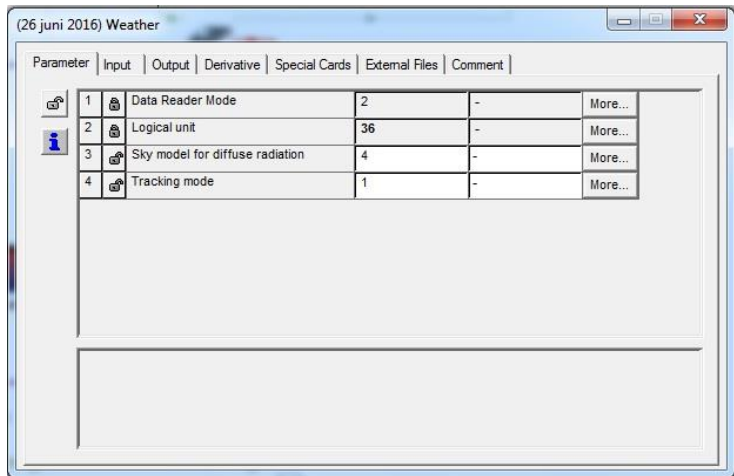


### 3. Melengkapi pemodelan sistem

Pada tahap ini, model sistem di software TRNSYS 16 dilengkapi lagi agar sistem dapat di *run simulation*, misalnya dengan penambahan komponen *weather*, *daily load*, *efficiencies*, dll. Untuk parameter komponen-komponen penambahan menggunakan nilai standard dari TRNSYS 16.



Gambar IV-11. Diagram Alur Simulasi Pada TRNSYS 16

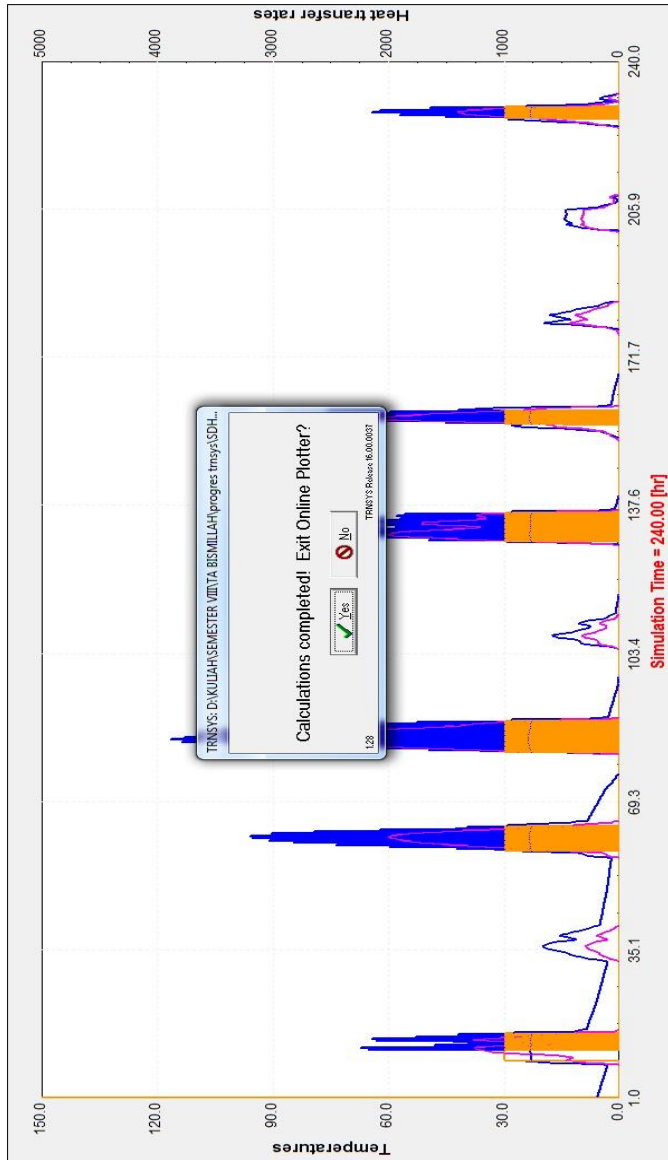


Gambar IV-12. Parameter Standard *Weather* Pada TRNSYS 16

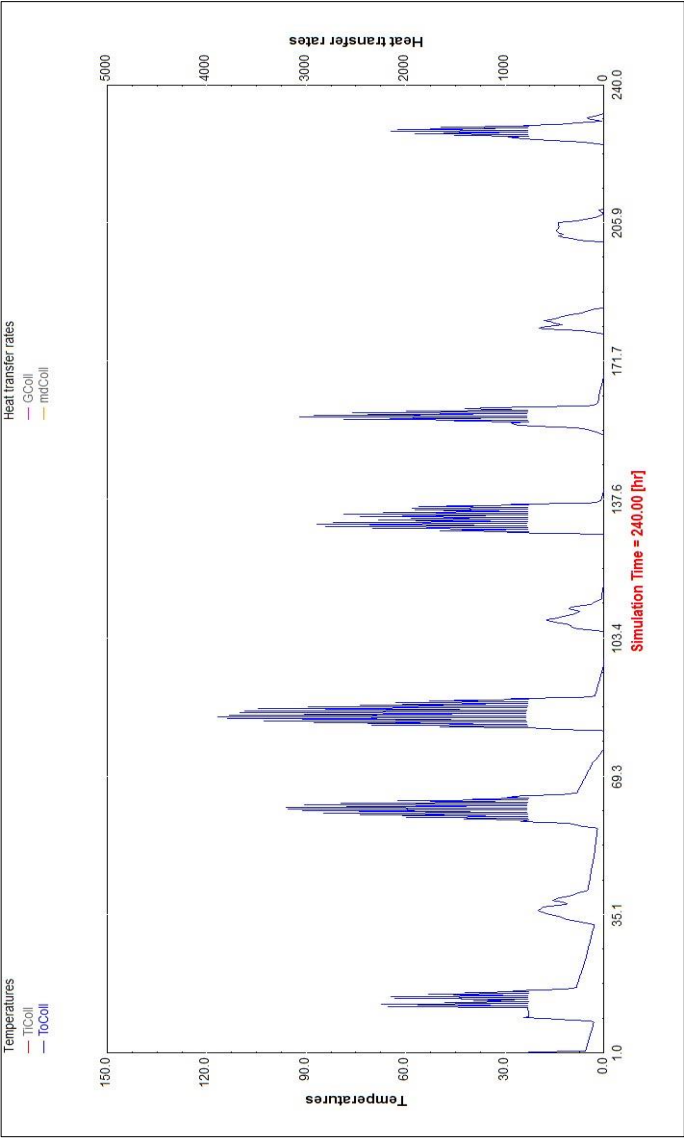
#### 4. *Run simulation system*

Pada tahap ini, model sistem di software TRNSYS 16 yang telah dibuat kemudian di *run simulation* untuk melihat hasil dari sistem tersebut.

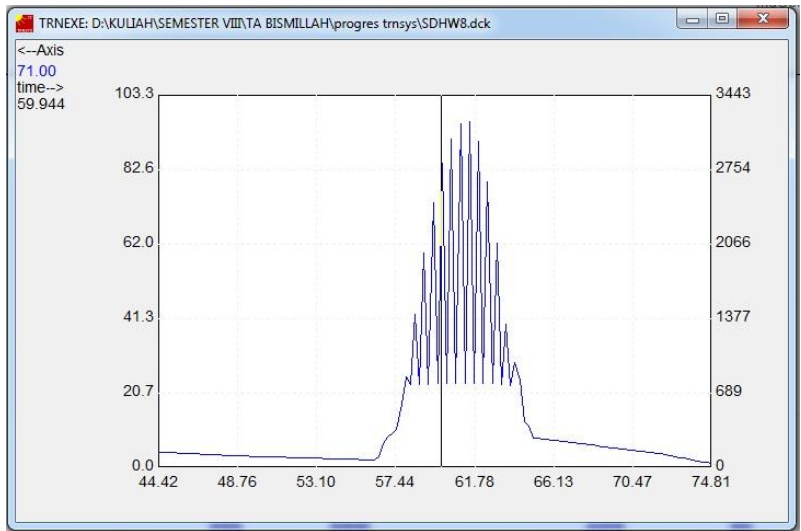
Parameter yang dihasilkan pada simulasi TRNSYS 16 yaitu ToColl (Temperatur *output solar collector*), GColl (*Solar radiation solar collector*) dan mdColl (*Flowrate solar collector*). Waktu simulasi di *setting* 240 jam (10 hari) sesuai dengan lama pelayaran dari KM. Dorolonda. Dari hasil simulasi dinamik didapatkan ToColl (*Temperature output solar collector*) sebesar 76,86°C, GColl (*Solar radiation solar collector*) sebesar 271046,16 kJ/h dan nilai mdColl (*Flowrate solar collector*) selalu konstan pada 1062 kg/h.



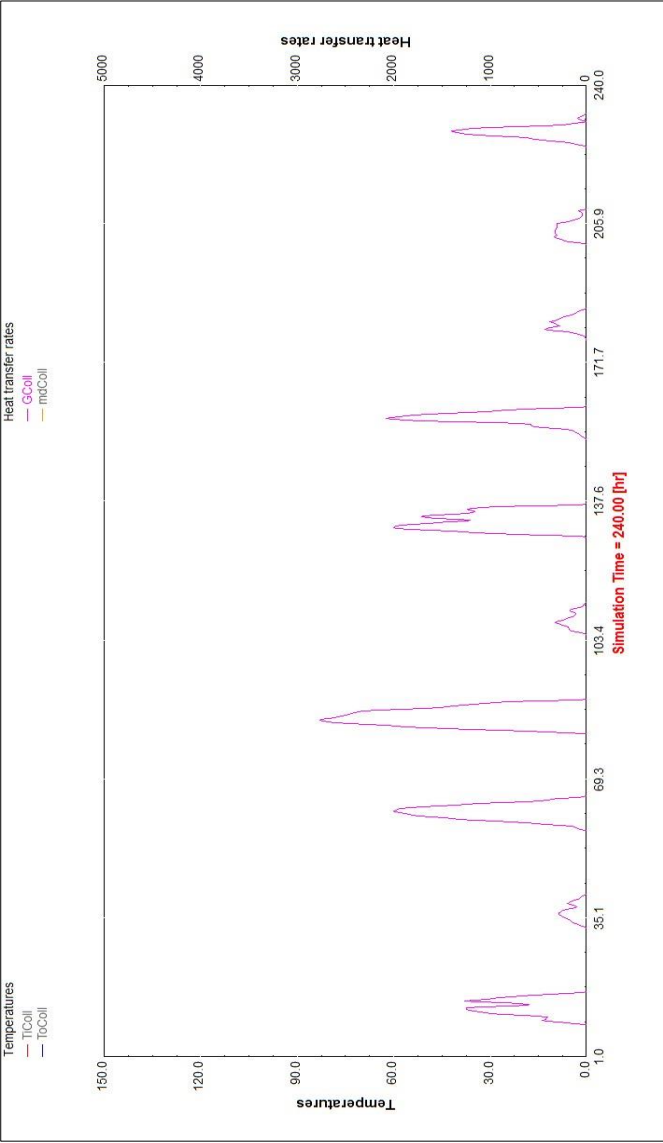
Gambar IV-13. Run Simulation Completed (Berhasil)



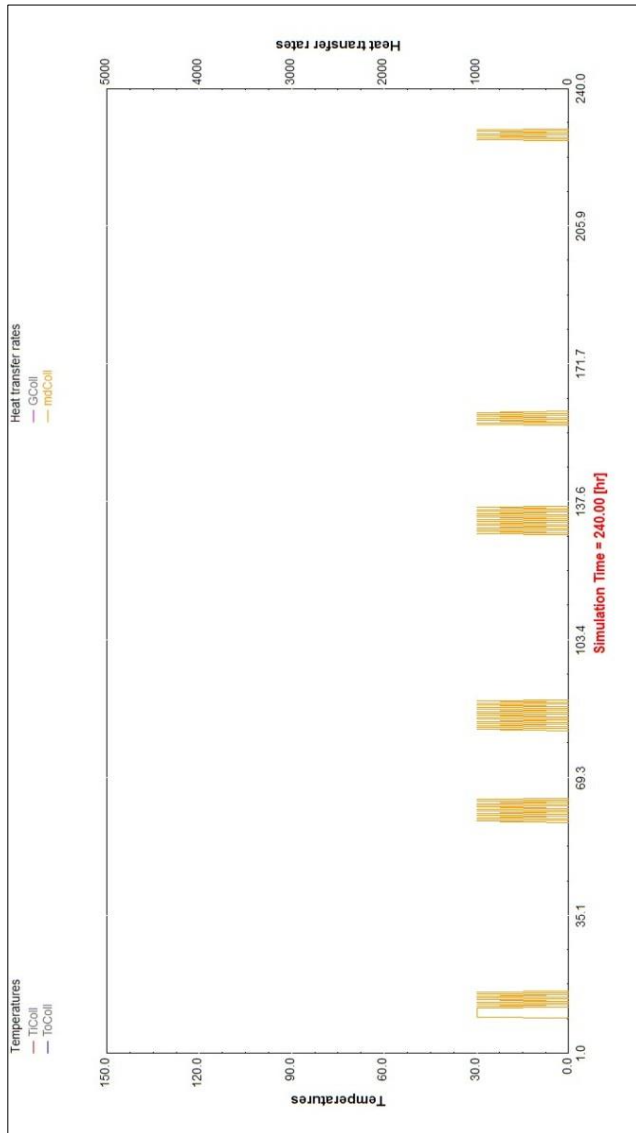
Gambar IV-14. Hasil dari ToColl (Temperatur *Output Solar Collector*) Pada TRNSYS 16



Gambar IV-15. Temperatur *Output Solar Collector* yang  
Dhasilkan Pada Jam ke-60



Gambar IV-16. Hasil dari GCoil (*Solar Radiation Solar Collector*) Pada TRNSYS 16



Gambar IV-17. Hasil dari mdCoil (*Flowrate Solar Collector*)  
Pada TRNSYS 16

Didapatkan perbandingan secara umum hasil komparasi dari perhitungan manual dan *software* TRNSYS tersebut, yaitu:

Tabel IV-9. Komparasi Perhitungan Manual dengan Software

No	Hasil	Perhitungan Manual	<i>Software</i> TRNSYS
1	<i>T output</i>	70°C	76,86°C
2	Radiasi <i>solar collector</i>	1416846,652 kJ/hari	271046,16 kJ/h
3	<i>Mass flowrate</i>	1170,1 kg/h	1062 kg/h

Terdapat sedikit perbedaan, hasil perhitungan manual dengan software, hal tersebut dikarenakan pada perhitungan manual nilai yang didapat tidak akurat karena pada perhitungan manual terdapat beberapa asumsi. Sehingga dilakukan simulasi dengan software untuk mengevaluasi dari perhitungan manual yang telah dilakukan.



LAMPIRAN

Lampiran 1

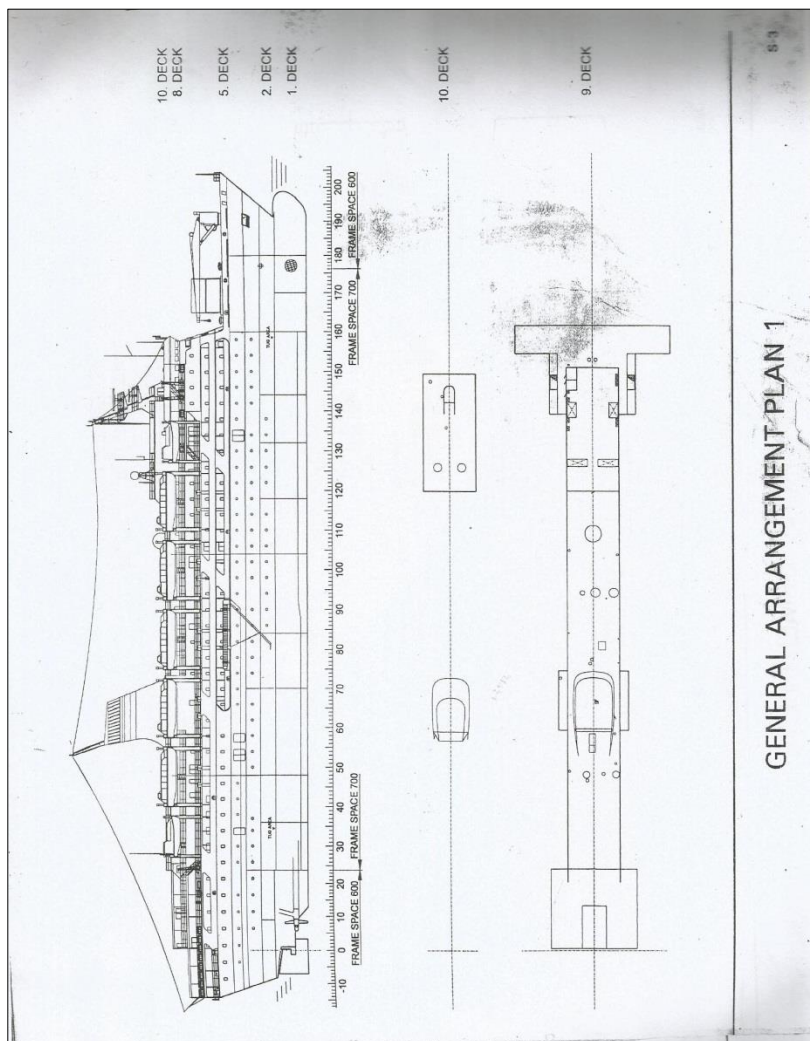
Data Utama KM. Dorolonda:

Passenger Ship	
KM "DORO LONDA"	
Class:	KI A 100 (1) Passenger Ship + SM 0
Call Sign:	YGOH
Length over all:	abt 146.50 m
Length between P.P.:	130.00 m
Breadth moulded:	23.40 m
Draft:	abt 5.9 m
Gross tonnage:	abt 14800 Gt
Deadweight:	abt 3175 metr. t.
Passengers	36 Beds
1st class A:	56 Beds
1st class B:	12 Beds
1st class S:	
Impr. economy class:	2102 Beds
Passengers total:	2206 Beds
Crew, owners, pilot:	155 Beds
Total:	max. 2325 Persons at the vessel
Service speed on design draft:	abt 22.4 kn
Engine output:	2 x 8520 kW

GENERAL DATA

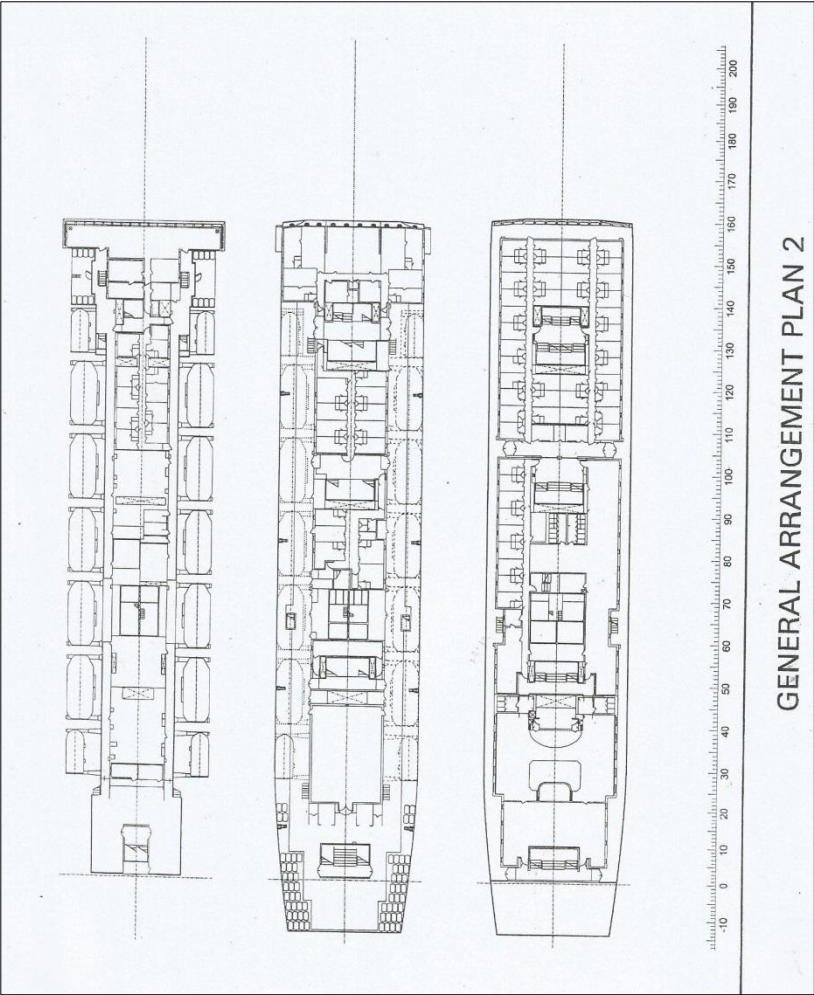
## Lampiran 2

### General Arrangement Plan 1 KM. Dorolonda:



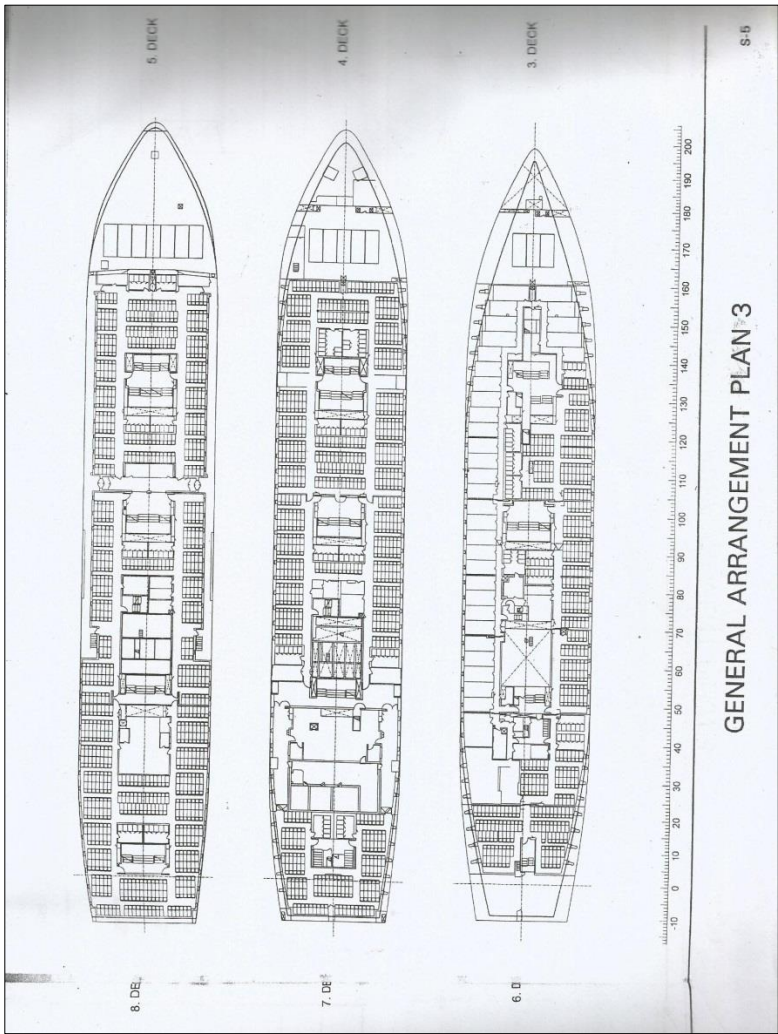
Lampiran 3

General Arrangement Plan 2 KM. Dorolonda:



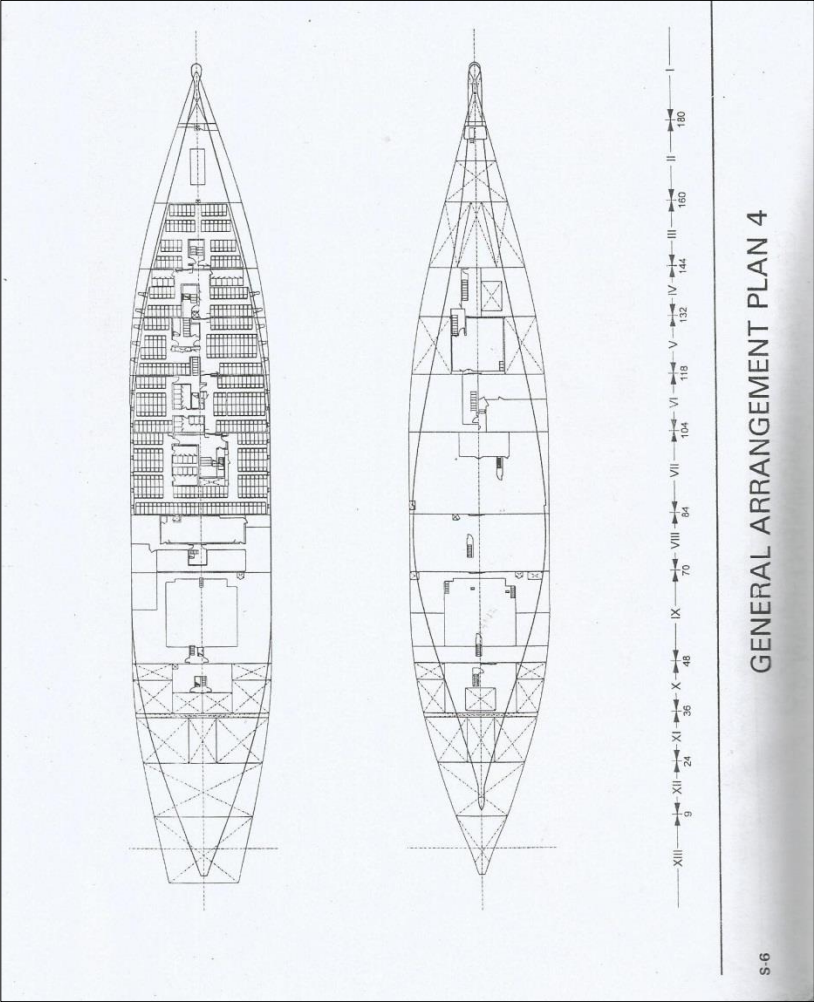
Lampiran 4

General Arrangement Plan 3 KM. Dorolonda:



Lampiran 5

General Arrangement Plan 4 KM. Dorolonda:



## Lampiran 6

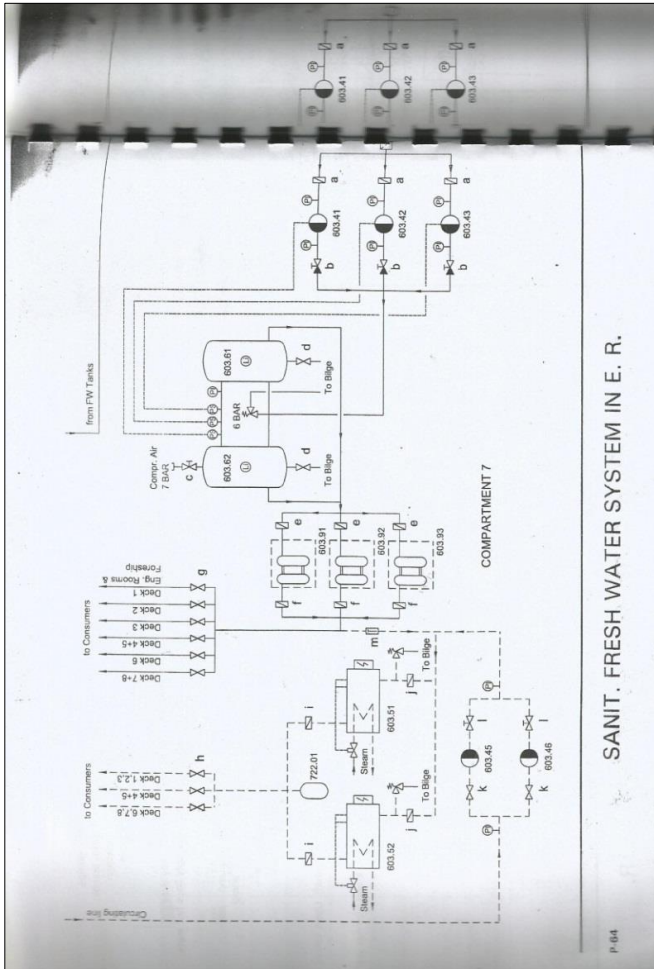
Rute Pelayaran KM. Dorolonda Pada Bulan Juli 2016:

<b>Pelabuhan Berangkat</b>	<b>Pelabuhan Tiba</b>	<b>Jadwal Berangkat</b>	<b>Jadwal Tiba</b>
TANJUNG PRIOK	SURABAYA	06-07-2016   19:00	07-07-2016   18:00
SURABAYA	MAKASSAR	07-07-2016   23:00	09-07-2016   01:00
MAKASSAR	BAU – BAU	09-07-2016   03:00	09-07-2016   17:00
BAU – BAU	NAMLEA	09-07-2016   19:00	10-07-2016   15:00
NAMLEA	AMBON	10-07-2016   17:00	10-07-2016   22:00
AMBON	TERNATE	11-07-2016   01:00	11-07-2016   19:00
TERNATE	BITUNG	11-07-2016   21:00	12-07-2016   05:00
BITUNG	TERNATE	12-07-2016   07:00	12-07-2016   18:00
TERNATE	AMBON	12-07-2016   20:00	13-07-2016   14:00
AMBON	NAMLEA	13-07-2016   17:00	13-07-2016   22:00
NAMLEA	BAU – BAU	13-07-2016   23:59	14-07-2016   20:00
BAU – BAU	MAKASSAR	15-07-2016   04:00	15-07-2016   12:00
MAKASSAR	SURABAYA	16-07-2016   10:00	16-07-2016   17:00



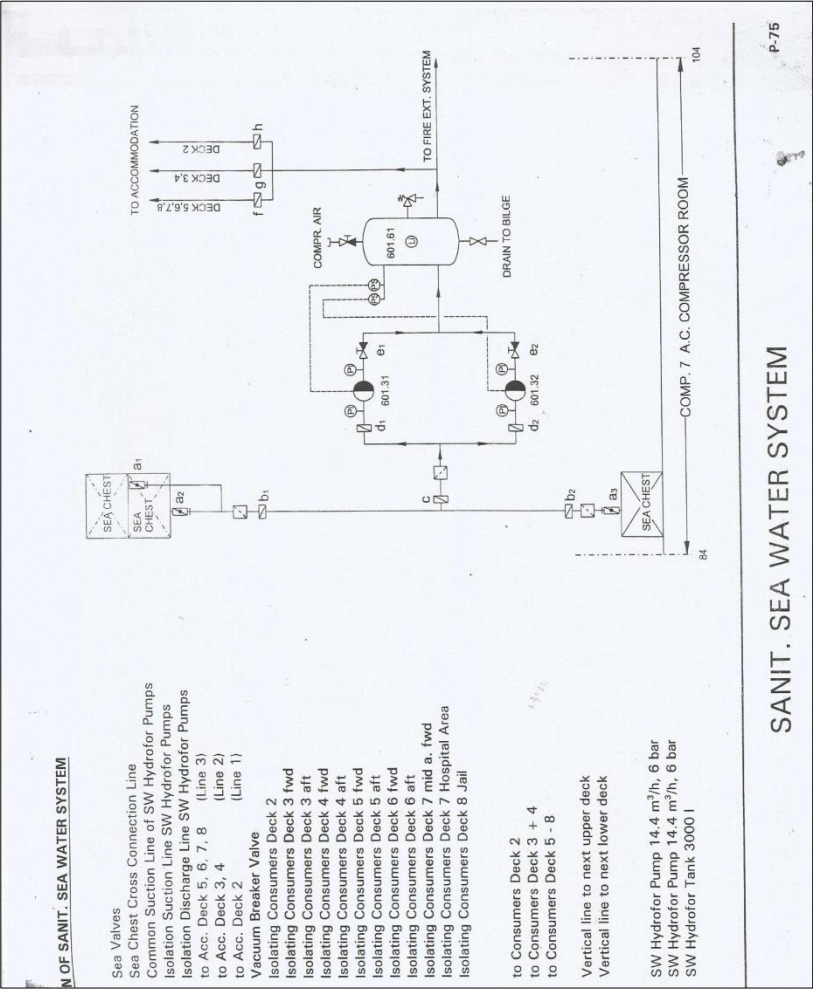
## Lampiran 7

*Keyplan* Eksisting Sistem Domestik KM. Dorolonda:



Lampiran 8

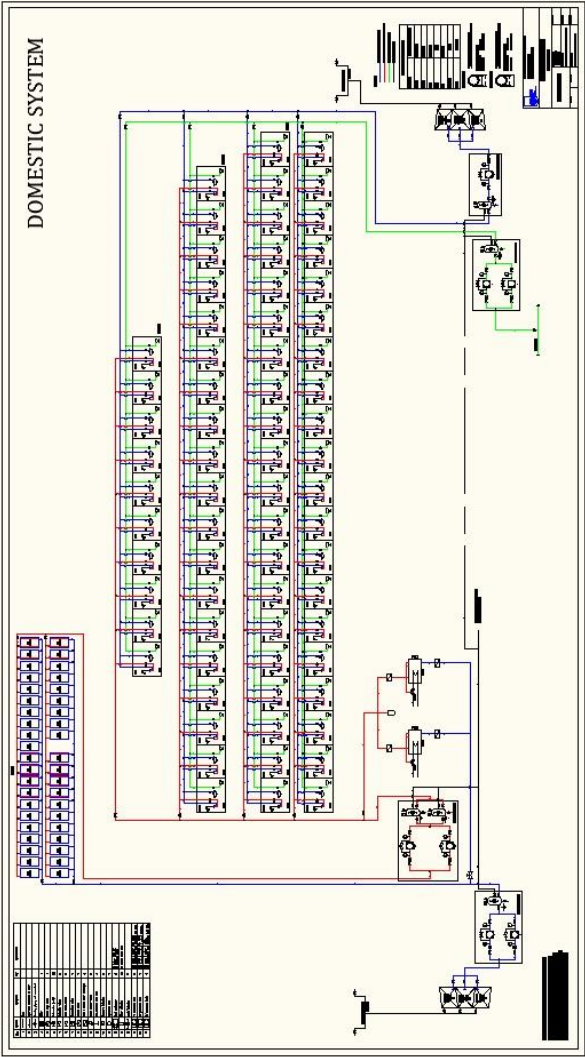
Keyplan Eksisting Sea Water Supply System KM. Dorolonda:





Lampiran 9

Keyplan Domestic System dengan Solar Water Heater:





Lampiran 11

Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*):



## Lampiran 12

Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*):



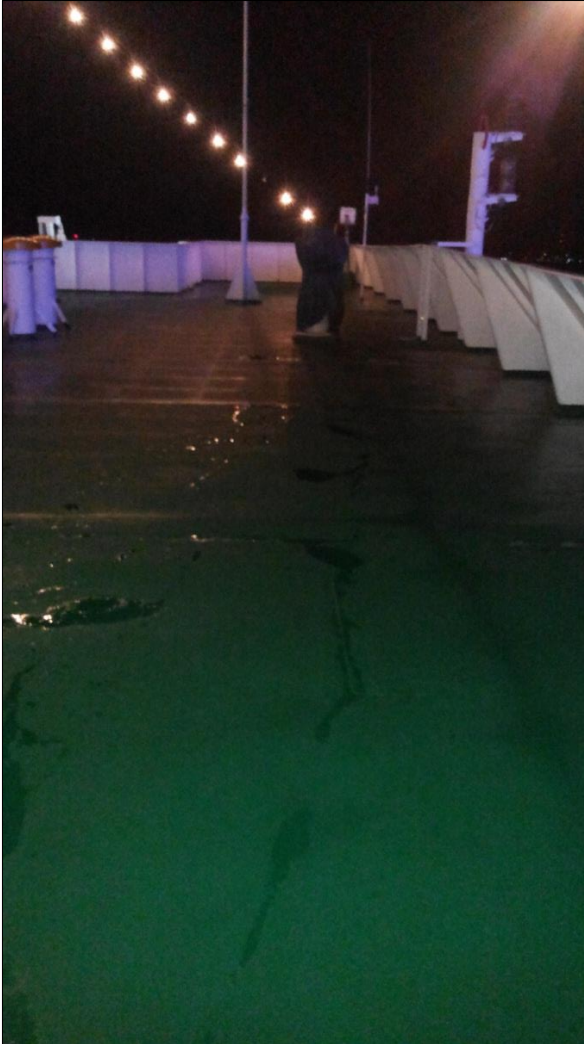
Lampiran 13

Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*):



## Lampiran 14

Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*):



## **BAB V.**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1 Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan, yang bertujuan untuk mengkaji kelayakan teknis pemanfaatan teknologi *solar water heater* sebagai pemanas terhadap sistem domestik di kapal penumpang dan melakukan kajian komputasional dengan software TRNSYS 16, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Secara kajian teknis sistem *solar water heater* pada sistem domestik KM. Dorolonda dapat diaplikasikan. Kebutuhan air hangat untuk mandi *crew* dan *passenger* KM. Dorolonda sebanyak 22000 liter/hari nya. *Solar collector* diletakkan di *deck 9* KM. Dorolonda dengan jumlah *solar collector* sebanyak 41 buah dan serapan kalor 393,6 kWh.
2. Desain *keyplan* sistem *solar water heater* untuk sistem domestik di kapal penumpang KM. Dorolonda sudah sesuai dengan *rule* dari *class*, serta sesuai dengan aturan mengenai kebutuhan air panas yang ada di *Maritime Labour Convention* (MLC) yaitu pada temperatur *hot water* 70°C.
3. Pada simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan software TRNSYS 16 yang telah di *setting* selama 10 hari (240 jam) sesuai dengan rute pelayaran KM. Dorolonda didapatkan nilai ToColl (Temperatur *output solar collector*) sebesar 76,86°C, GColl (*Solar radiation solar collector*) sebesar 271046,16 kJ/h dan nilai mdColl (*Flowrate solar collector*) selalu konstan pada nilai 1062 kg/h.

## V.2 Saran

1. Diperlukan adanya analisa ekonomi untuk mengetahui jumlah biaya yang diperlukan dalam menggunakan teknologi *solar water heater* sebagai pemanas, dibandingkan dengan menggunakan *steam boiler* pada sistem sebelumnya (sistem eksisting di KM. Dorolonda).
2. Diperlukan studi lebih lanjut dan percobaan untuk perancangan sistem teknologi *solar water heater* yang sesuai dengan kondisi di *deck 9* yang ada di kapal dan kondisi kamar mesin untuk penempatan tangki *hydrophore hot water* agar dapat diaplikasikan dengan melihat aspek keselamatan dan kondisi lingkungan.



## DAFTAR PUSTAKA

- (2006). Maritime Labour Convention. International Labour Conference.
- A, O. R. (2015). Design and Construction of Water Heater on Board a Ship.
- Alamendah. (2014, November 15). *Energi Surya (Matahari) di Indonesia*. Retrieved December 2015, from <https://alamendah.org/2014/11/15/energi-surya-matahari-di-indonesia/>
- Ardiansyah, R. (2013). *Perencanaan Thermosyphon Passive Solar Water Heater Sebagai Pemanas Air Pada Sistem Domestik MT. Vanda 6300 DWT*.
- Budisma. (2015, January). *Perpindahan Kalor (Konduksi, Konveksi, Radiasi)*. Retrieved May 2016, from <http://budisma.net/2015/01/perpindahan-kalor-konduksi-konveksi-dan-radiasi.html>
- Garret, R. H. (1988). *Hot and Cold Water Supply*. Engineering Technique.
- Holman, J. (1994). *Perpindahan Kalor*. Erlangga.
- Homola, C. A. (2004). Solar Energy Society. *Solar Domestic Hot Water Heating System Design, Installation and Maintenance*.
- Kalogirou, S., & Tripanagnostopoulos, Y. (2006). Energy Conversion and Management. *Hybrid PV/T Solar Systems For Domestic Hot Water and Electricity Production*.
- Koizumi, I., & Harada, S. (1982). *Machinery Outfitting Design Manual*. The Marine Engineering Society in Japan.

- Krisno, A. (2011, December). *Bakteri Patogen Pada Saluran Pernapasan*. Retrieved March 2016, from <https://aguskrisnoblog.wordpress.com/2011/12/26/bakteri-patogen-pada-saluran-pernafasan/>
- Kumana, J. D., Kothari, S. P., Henningson, Durham, & Richardson. (2009). Chemical Engineering Magazines. *Predict Storage Tank Heat Transfer Precisely*.
- Kusuma, H. (2013, March). *Solar Water Heater, Deskripsi dan Instalasi*. Retrieved April 2016, from <https://husnukusuma.wordpress.com/tag/solar-water-heater/>
- Morvay, Z. K., & Gvozdenac, D. D. (2008). *Applied Industrial Energy and Environmental Management*.
- Neville, R. C. (1995). Solar Energy Conversion. In M. R. Saputra, *Pengembangan Desain Solar Collector Untuk Sistem Solar Water Heater Pada Kapal Menggunakan Simulasi Numerik*. Elsevier.
- Pillai, I., & Banerjee, R. (2006). Methodology for Estimation of Potential for Solar Water Heating in Target Area. In M. R. Saputra, *Pengembangan Desain Solar Collector Untuk Sistem Solar Water Heater Pada Kapal Menggunakan Simulasi Numerik*. Elsevier.
- Qomareza. (2016, June). *Jadwal Kapal Pelni Dorolonda*. Retrieved March 2016, from <http://harga-promo.net/jadwal-kapal-pelni/jadwal-kapal-pelni-dorolonda-terbaru-2016.html>
- Royani, K. A. (2015). *Perencanaan Sistem Pemanfaatan Panas Buang Untuk Pemanas Air Pada Sistem Domestik MT. Vanda*.

- Saleem, M. S., Haider, A., & Abas, N. (2011). *Review of Solar Thermal Water Heater Simulation Using TRNSYS*.
- Saputra, M. R. (2012). *Pengembangan Desain Solar Collector Untuk Sistem Solar Water Heater Pada Kapal Menggunakan Simulasi Numerik*.
- Sulistyo, H. S. (2014, November 21). *KM. Dorolonda Kapal Penumpang Reguler Rasa Kapal Pesiar*. Retrieved January 2016, from <http://bisniswisata.co.id/km-kelud-kapal-penumpang-regular-rasa-kapal-pesiar/>
- Surya. (2013, August). *Isolasi Pipa*. Retrieved June 2016, from <http://suryaera.com/isolasi-pipa-ac>
- Wiki. (2012, February). *Solar Water Heater: Pemanas Air Tenaga Surya*. Retrieved June 2016, from <http://sanfordlegenda.blogspot.co.id/2012/09/Solar-Water-Heater-Pemanas-air-tenaga-surya.html>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data Utama KM. Dorolonda
- Lampiran 2 : *General Arrangement Plan* 1 KM. Dorolonda
- Lampiran 3 : *General Arrangement Plan* 2 KM. Dorolonda
- Lampiran 4 : *General Arrangement Plan* 3 KM. Dorolonda
- Lampiran 5 : *General Arrangement Plan* 4 KM. Dorolonda
- Lampiran 6 : Rute Pelayaran KM. Dorolonda Pada Bulan Juli 2016
- Lampiran 7 : *Keyplan* Eksisting Sistem Domestik KM. Dorolonda
- Lampiran 8 : *Keyplan* Eksisting *Sea Water Supply System* KM. Dorolonda
- Lampiran 9 : *Keyplan Domestic System* dengan *Solar Water Heater*
- Lampiran 10 : Peletakan *Solar Water Heater* di *Deck 9*
- Lampiran 11 : Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*)
- Lampiran 12 : Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*)
- Lampiran 13 : Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*)
- Lampiran 14 : Foto *Deck 9* (Tempat Peletakan *Solar Collector*)

## BIODATA PENULIS



Lulu Rozy, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 22 Februari 1995. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Azizi dan Ibu Muafiah. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SDN RBU 01 Pagi Jakarta, SMPN 30 Jakarta, dan SMAN 13 Jakarta. Kemudian penulis melanjutkan studi Strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut

Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya yang terdaftar dengan NRP 4212 100 148 dan mengambil konsentrasi bidang keahlian *Marine Machinery and System* (MMS). Selama perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan akademik dan non akademik. Kegiatan akademik penulis yaitu member *Marine Machinery and System Laboratory* dan sebagai grader praktikum pompa sentrifugal dalam matakuliah Mesin Fluida. Sedangkan kegiatan non akademik penulis yaitu organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL FTK-ITS) pada tahun kedua sebagai sekretaris departemen PSDM dan pada tahun ketiga sebagai sekretaris kabinet I, selain itu pada organisasi GALAS SURABAYA pada tahun kedua penulis aktif sebagai ketua, serta penulis aktif sebagai pemandu samudera LKMM di JTSP, FTK, dan ITS. Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT. Dok dan Perkapalan Surabaya (PERSERO) dan ConocoPhillips, Indonesia Inc Ltd.

Lulu Rozy

*Marine Engineering Department, FTK – ITS*

*rozylulu@gmail.com*